

1 9 6 2  
Nr 6 (9)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI  
WARSZAWA — MIEDZESZYN

# PRZEGŁAD ZAGADNIEŃ ŁĄCZNOŚCI





MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

# PRZEGLĄD ZAGADNIEŃ ŁĄCZNOŚCI

ROK 2

WARSZAWA 1962

NR 6(9)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Ośrodek Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Kolegium Redakcyjne:  
Przewodniczący - mgr inż. Zenon Szpigler

Członkowie:  
mgr inż. Władysław Cetner, inż. Edmund Janowski,  
doc. Stefan Jasiński, mgr Kazimierz Kotowski,  
mgr inż. Adam Moniuszko, mgr inż. Józef Możejko

Sekretarz Redakcji - Irena Kulko

Adres Redakcji:  
Instytut Łączności  
Ośrodek  
Informacji Techniczno-Ekonomicznej  
Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

Na prawach rękopisu - do użytku służbowego

---

Dział Wydawniczy OKW Instytutu Łączności  
Format B5. Nakład 600. Druk ukończono  
we wrześniu 1962 r

PRZEGŁAD  
ZAGADNIEŃ ŁĄCZNOŚCI

S t e r e o f o n i a

SPIS TREŚCI

	Str.
D.E.L. Shorter, G.J. Phillips - Zagadnienia stereofonii - Opracował H. Helbing.	1



## ZAGADNIENIA STEREOFONII<sup>1/</sup>

D.E.L. Shorter, G.J. Phillips. A Summary of the Present Position of Stereophonic Broadcasting. BBC Engineering Division Monograph, No 29, April 1960.

Przedstawiono różne metody tworzenia audycji stereofonicznych dla celów zapisu i radiowego rozgłaszania ze szczególnym uwzględnieniem stereofonicznego odtwarzania dźwięków w warunkach domowych.

Rozpatrzono zagadnienie nadawania audycji stereofonicznych na obecnych kanałach radiowych z zapewnieniem odpowiedniego ich odbioru na zwykłych odbiornikach radiowych, przy czym przeanalizowano zasady i możliwości głównych systemów z dotychczas do tego celu zaproponowanych.

Zwrócono uwagę na trudności, które mogą wystąpić przy przewodowym przesyłaniu do nadajników audycji stereofonicznych.

Poruszono kwestię zastosowania stereofonii do dźwięków towarzyszących telewizji.

### 1. DEFINICJE /OKREŚLENIA/

Do obecnie szybko rozwijającego się tematu - stereofonia - wprowadzono szereg nowych wyrazów, których znaczenie nie zostało dotychczas dostatecznie wyjaśnione. Wydaje się więc celowe rozpoczęcie tej monografii od podania krótkich określeń dla specyficznych terminów które zostały użyte w tekście.

---

<sup>1/</sup> Na podstawie oryginału opracował H. Helbing.

### a. Stereofonia

Brytyjski Instytut Norm w swym bieżącym wydawnictwie objaśnień terminów akustycznych podaje definicję systemu stereofonicznego jako "system przenoszenia dźwięku, w którym dwa lub więcej kanałów jest skoordynowanych w ten sposób, że dają słuchaczowi odczucie przestrzennego rozkładu dźwięku". Opis ten budzi jednak zastrzeżenie dlatego, że może on mieć również zastosowanie do systemów, w których słuchacz nie odbiera wiadomości o względnych położeniach źródeł dźwięku. Dlatego dla celów niniejszej monografii będzie użyta następująca definicja: "Stereofonia jest to sztuka lub praktyka takiego wykorzystania dwóch lub więcej elektro-akustycznych przetworników, że za ich pośrednictwem słuchacz odczuwa względne położenie w przestrzeni szeregu źródeł dźwięku".

### b. Monofonia

Termin ten będzie użyty do określenia obecnej formy rozgłaszania radiowego oraz normalnego zapisu i odtwarzania dźwięków. Stosowanie do tego celu terminu "monosłuch" uważa się za nieodpowiednie, gdyż nawet przy jednym głośniku słuchacz odbiera dźwięki obydwoma uszami. Również proponowany termin "pojedynczy kanał" może być dwuznaczny, ponieważ niektóre systemy stereofonii wykorzystują także tylko jeden kanał przesyłowy.



### c. Odpowiedniość

O systemie stereofonicznym mówi się, że jest "odpowiedni" wtedy, gdy pozwala on również na zadowalający odbiór audycji sprzętem zaprojektowanym i przeznaczonym do odtwarzania monofonicznego.

### d. Obraz dźwięku

W celu uniknięcia częstego powtarzania następującego zwrotu: "miejsce, skąd odtwarzany dźwięk wydaje się pochodzić" wprowadzono termin zapożyczony z optyki "obraz". Używając tego terminu można powiedzieć, że każde źródło dźwięku w studio tworzy odpowiedni obraz w pomieszczeniu odbiorczym słuchacza.

### e. Scena dźwięku.

Jest to strefa rozciągająca się od lewostronnego do prawostronnego głośnika, z której obraz dźwięku wydaje się pochodzić. Stosowanie terminu "pole dźwięku" uważa się za nieodpowiednie, gdyż słowo "pole" ma inne znaczenia.

Należy zauważyć, że we wszystkich domowych urządzeniach stereofonii, jak również w większości systemów kinowych, efekty pozycyjne dźwięku są ograniczone do płaszczyzny poziomej. Subiektywne odczucia pionowych odchylenia, które czasem się zdarzają przy odtwarzaniu stereofonicznym, są przypadkowe i nie dają się łatwo kontrolować, a ich pochodzenie nie jest jeszcze dostatecznie wyjaśnione.

#### f. Skala szerokości

Jest to stosunek kąтового odchylenia źródła dźwięku do kąтового odchylenia odpowiadającego mu obrazu.

#### g. Rozstawione mikrofony

Jest to grupa mikrofonów, w których różnice czasów dojścia do nich tego samego dźwięku zostały wykorzystane w całości lub częściowo do wywołania wrażeń stereofonicznych.

#### h. Przyległe mikrofony

Jest to para mikrofonów zainstalowanych tak blisko siebie, że różnica czasów dojścia do nich tego samego dźwięku jest nieznaczna.

## 2. WSTĘP

Pomysł odtwarzania dźwięków w formie stereofonicznej nie jest nowy, gdyż powstał już w końcu zeszłego stulecia, gdy były prowadzone badania fizjologii słuchu parą uszu, a w roku 1881 była wykonana w Paryskiej Operze próba systemu dwu mikrofonów połączonych z szeregiem par słuchawek. Dopiero jednak rozwój techniki głośnikowej pozwolił na rozpoczęcie prób stereofonicznych w dzisiejszym znaczeniu tego terminu.

Pierwszy na większą skalę przeprowadzony eksperyment odbył się w 1934 roku w laboratoriach Bella. Sygnały z szeregu mikrofonów umieszczonych w rzędzie przed orkiestrą były odtwarzane przez odpowiedni rząd głośników

rozlokowanych przed audytorium. Taki układ, który wymaga tyle torów przenoszenia, ile jest mikrofonów lub głośników, nazwano systemem frontalnym /ang. "wave-front"/.

Początkowo większość systemów stereofonicznych była opracowywana z myślą o potrzebach techniki kinowej. W zasadzie oparto się na systemie "frontalnym", lecz później zaczęto na ogół uzupełniać oryginalny układ pojedynczymi mikrofonami dla uzyskania w sposób sztuczny regulacji miejsca obrazu dźwięku na scenie za pomocą tak zwanego panoramicznego potencjometru, umożliwiającego dowolny rozdział sygnału z pojedynczego mikrofonu na poszczególne głośniki.

Już od trzydziestu lat tematem dociekań jest możliwość upowszechnienia stereofonii przez wprowadzenie tego systemu do audycji radiofonicznych i zapisu dźwięków oraz ich odtwarzania w warunkach domowych. Z ekonomicznego punktu widzenia ilość kanałów użyta do tego celu powinna być jak najmniejsza, a więc w praktyce nie przekraczać dwóch. Stereofoniczny system "frontalny" o dwóch kanałach nie daje jednak zadowalających rezultatów, gdyż źródła dźwięków znajdujące się pośrodku między mikrofonami mają brzmienie zbyt odległe, a ponadto odczuwa się brak płynnego przemieszczania obrazu po scenie, gdy źródło dźwięku jest ruchome. To zagadnienie powstałe na skutek dużego odstępu pomiędzy lewym i prawym mikrofonem może być w pewnym stopniu rozwiązane przez dodanie mikrofonu środkowego, dostarczającego jednakowej wielkości sygnał do obu kanałów. Inne, późniejsze rozwiązanie przewiduje użycie mikrofonów przyległych bądź też

ulożonych w odstępie nieznacznym w porównaniu z zestawieniem głośników. Drugim zagadnieniem występującym w systemie stereofonii dwukanałowej jest znaczna zmiana miejsca obrazu dźwięku na scenie w zależności od usytuowania słuchacza w stosunku do głośników, który aby uzyskać prawidłową informację kierunku, powinien znajdować się na linii będącej środkową głośników. Propozycje użycia głośników o specjalnej charakterystyce kierunkowej promieniowania akustycznego lub trzeciego głośnika, który byłby umieszczony pośrodku i zasilany z obu kanałów jednocześnie - są tylko półśrodkami nie rozwiązującymi tego zasadniczego zagadnienia. Tymczasem jest coraz więcej danych mówiących o zaletach odtwarzania stereofonicznego, które odczuwa większość ludzi słuchających nawet w warunkach dalekich od ideału.

W 1931 roku Blumlein opatentował dwukanałowy system zapisu i odtwarzania stereofonicznego na użytek domowy. Metoda polegała na synchronicznym zapisie dwóch sygnałów stereofonicznych na płycie przy wykorzystaniu dwóch ścianek rowku, lecz system ten nie został w tym czasie zrealizowany z powodu trudności, które napotkano w praktyce.

Zaraz po wojnie zaznaczył się szybki rozwój zapisu na taśmie magnetycznej systemem niemieckim. Środek ten okazał się doskonały dla zapisu kilku sygnałów jednocześnie, w rezultacie czego powstały możliwości wykorzystania go na skalę przemysłową w zastosowaniu do stereofonicznego odtwarzania dźwięków w warunkach domowych. W międzyczasie technika nagrań i wykonanie płyt

gramofonowych zrobiły takie postępy, że okazało się możliwe zrealizować propozycję Blumlein'a w postaci systemu nazywanego obecnie "45/45". Długogrające płyty stereofoniczne są dziś produkowane na skalę przemysłową i zostały już uzgodnione ogólne normy ich wykonania. Wyraźna poprawa w naturalnym przekazaniu audycji nawet przy zupełnie niedrogim urządzeniu odtwarzającym w połączeniu z nieoczekiwanie niskim kosztem płyt stereofonicznych stwarzają warunki, że zainteresowanie tym systemem wzrasta i należy się spodziewać, że w niedalekiej przyszłości będzie ono już znaczne.

Możliwość stereofonicznego rozgłaszania audycji radiowych była już niejednokrotnie rozpatrywana i w związku z tym przeprowadzono nawet szereg prób praktycznych. Jednak wydawało się do niedawna, że potrzeby publiczne na tego rodzaju służbę nigdy nie będą tak znaczne, aby usprawiedliwić wysiłek inżynierski, jaki musiałby być włożony do opracowania odpowiedniego systemu. Sytuacja uległa radykalnej zmianie po ostatnich sukcesach uzyskanych przez przemysł nagrań. W tych okolicznościach zarządy radiostacji Stanów Zjednoczonych i niektórych krajów europejskich poddały ponownej analizie ekonomicznej i technicznej sprawę wprowadzenia stereofonii do rozgłaszania radiowego. W Stanach Zjednoczonych wszystkie większe wytwórnie sprzętu komunikacyjnego zajęły się tym tematem i przeprowadzają doświadczalne próby z szeregiem różnych systemów. W 1959 roku Międzynarodowy Radiokomunikacyjny Komitet Doradczy /CCIR/ przyjął zagadnienie i opracował program studiów nad stereofonicz-

nym rozgłaszaniem radiowym. Jednocześnie Europejska Unia Radiofoniczna /EBU/ wyłaniała grupę roboczą dla przeprowadzenia studiów porównawczych różnych systemów mikrofonowych i transmisyjnych przewidzianych do wykorzystania w stereo-radiofonii.

Radio jako środek przenoszenia stereofonicznych audycji przedstawia szereg dodatkowych, poważniejszych problemów natury ekonomicznej i technicznej od tych, które napotkano przy produkcji nagrań stereofonicznych. Przede wszystkim powinny być stworzone warunki dla jednoczesnego przenoszenia tej samej audycji w obu odpowiadających sobie wersjach, monofonicznej i stereofonicznej bez zwiększania ilości nadajników. Następnie, choć znaczna część programu nadawanego obecnie przez radio może być przedtem nagrana bez uszczerbku, a czasem nawet z zyskiem dla jakości technicznej, to jednak pewne typy audycji muszą być transmitowane w dalszym ciągu na "żywo", co w stereofonicznym ujęciu scen nie jest łatwo przeprowadzić ze względu na zwiększone trudności uszykowania i poruszania się wykonawców w studio. Wystąpiły również znaczne trudności w przesyłaniu audycji stereofonicznych po liniach dalekosiężnych.

Zasadnicze cechy idealnego systemu stereo-radio-fonicznego są zestawione poniżej. Nie ulega jednak wątpliwości, że jednoczesne spełnienie wszystkich postawionych wymagań będzie w praktyce niemożliwe.

a. Do przenoszenia audycji powinien wystarczyć pojedynczy kanał częstotliwości radiowej o tylko nieznacznie poszerzonym pasmie lub zmniejszonym zasięgu.

b. System powinien umożliwiać odbiór stereofonicznych audycji za pomocą normalnego odbiornika monofonicznego, wyposażonego dodatkowo w stosunkowo tani i prosty adapter. O ile słuchacz dysponuje urządzeniem do odtwarzania nagrań stereofonicznych, powinno być ono również wykorzystane.

c. Część nadawcza systemu powinna zezwalać na uzyskiwanie jakości odtwarzania porównywalnej z tą, jaką dają dobre nagrania stereofoniczne w warunkach domowych.

d. Audycja odtwarzana za pomocą monofonicznego odbiornika powinna w niczym się nie różnić od uzyskiwanej dziś przy normalnym nadawaniu monofonicznym.

e. Do czasu unormowania techniki mikrofonowej i sposobów tworzenia sygnałów stereofonicznych system powinien działać przy dowolnej parze stereofonicznej, niezależnie od tego, w jaki sposób te sygnały zostały utworzone.

### 3. TWORZENIE I ODTWARZANIE AUDYCJI STEREOFONICZNYCH

#### 3.1. Systemy mikrofonowe

Początkowe próby stereofonicznego odtwarzania za pomocą dwóch głośników były przeprowadzane z dwoma rozstawionymi mikrofonami o charakterystyce bezkierunkowej /z wyjątkiem wyższych częstotliwości/. Mikrofony wchodziły odpowiednio w skład lewego i prawego łącza, a efekt stereofoniczny pochodził głównie z różnicy czasu dojścia do głośników sygnałów lewego i prawego.

Następnie przekonano się, że lepsze rezultaty można uzyskać przez zmianę stosunkowych wielkości sygnałów, lewego i prawego w zależności od kierunku nadejścia dźwięku do mikrofonów i że te różnice w wielkości dają taki sam efekt, jak różnice w czasie; efekt, jaki powstaje, gdy dźwięk dochodzi do słuchacza z jakiegoś punktu położonego z lewa lub z prawa od środka. Początkowa metoda regulacji wielkości sygnałów pochodzących od dwóch rozstawionych, bezkierunkowych mikrofonów została następnie zastąpiona przez stosowany dziś często w praktyce układ E.M.I. z parą przyległych, kierunkowych mikrofonów ustawionych pod kątem w lewo i w prawo. Jest również w praktyce znany pod nazwą systemu M-S inny układ kierunkowych mikrofonów, który daje ten sam efekt. System ten będzie opisany później w rozdziale traktującym o odpowiedniości.

Niektóre wytwórnie nagrań stosują mieszany system, wykorzystując zarówno różnice czasu jak i różnice wielkości. Główne sygnały, lewy i prawy, pochodzą z dwóch rozstawionych od 0,5 do 3 metrów mikrofonów o kardoidalnej charakterystyce kierunkowej, dodatkowy sygnał natomiast, który jest dzielony i dodawany do poprzednich sygnałów dostarcza trzeci, skierowany na wprost mikrofon z charakterystyką kardioidy. Ten ostatni umieszcza się zazwyczaj pośrodku między poprzednimi dwoma mikrofonami.

Jeszcze inny sposób stosuje firma Philips, wykorzystując parę ciśnieniowych mikrofonów osadzonych w "uszach" sztucznej głowy. Same mikrofony mają charakterystykę bezkierunkową, lecz wskutek powstałych zaskon,



gdy są umieszczone w sztucznej głowie, nabierają cech znacznej kierunkowości na wyższych częstotliwościach. Charakterystyka kierunkowa tego systemu jest różna dla poszczególnych zakresów częstotliwości akustycznych.

Na temat zalet stosowania tej lub innej techniki mikrofonowej zdania są podzielone, lecz z opublikowanych danych wynika, że przeważa opinia korzystna dla pary bliskich lub przyległych mikrofonów o charakterystyce kierunkowej, podczas gdy początkowo praktykowany układ z dwoma rozstawionymi mikrofonami bezkierunkowymi uważany jest za przestarzały w stereofonii. Poza tymi wnioskami ogólnymi doświadczenia wskazują na to, że nie ma takiego układu mikrofonów, który byłby jednakowo dobry do wszystkich celów i że mikrofony o dowolnie regulowanej charakterystyce kierunkowej mają największe zastosowanie.

We wstępie przy omawianiu techniki mikrofonowej na użytek filmu była wzmianka o układzie pojedynczego mikrofonu z panoramicznym potencjometrem dla uzyskania w sposób sztuczny regulacji miejsca obrazu dźwięku na scenie. Ten sam układ znalazł również zastosowanie w dwukanałowej stereofonii dla uwydatnienia słabych głosów lub niektórych instrumentów muzycznych, wymagających specjalnego wzmocnienia, a także okazał się przydatny do wywołania efektów ruchu, takich na przykład jak odgłosy biegnącego kłusem konia pobrane z monofonicznych nagrań. Były nawet propozycje, aby wszystkie audycje stereofoniczne tworzyć sztucznie w podobny sposób, i parę lat temu we Francji wykonano próbę radiową działającego na tej zasadzie systemu stereofonii dwukanałowej

pod nazwą "Stéréophonie dirigée". Niestety, obrazy stereofoniczne tworzone w powyższy sposób nie dają wrażenia przestrzennych, takich jakie uzyskuje się w układach dwumikrofonowych, gdyż pojedynczy mikrofon nie jest w stanie oddzielić odgłosu od dźwięku bezpośredniego i oba są słyszane tak jakby pochodziły z tego samego miejsca. Dlatego "Stéréophonie dirigée" musi być uważany tylko za system uzupełniający, a nie zastępujący normalną stereofoniczną technikę mikrofonową.

### 3.2. Rozmieszczenie mikrofonów

Dopiero w ciągu paru ostatnich lat stereofonia dwukanałowa z głośnikami osiągnęła taki poziom, że można ją dziś uważać za poważny środek artystyczny. Jednak nie wszystkie elementy techniki stereofonicznej są już należycie opracowane, a do takich należy zaliczyć rozmieszczenie mikrofonów w studio.

Początkowo sądzono, że do dobrego odtworzenia stereofonicznego wystarczy umieścić parę mikrofonów w miejscu odpowiednim dla słuchacza na sali. Jednak okazało się to zbyt uproszczonym rozwiązaniem, gdyż wynikiem takiego umieszczenia mikrofonów jest zwykle uwydatnienie pogłosów i nadanie audycji brzmienia zbyt odległego. Poza tym zostało stwierdzone, że w przeciwieństwie do wniosków teoretycznych, najlepsza odległość mikrofonu od orkiestry jest dla systemu stereofonicznego mniejsza niż dla monofonicznego. W każdym bądź razie rozmieszczenie wykonawców i mikrofonów w studio musi odpowiadać nie

tylko normalnym wymogom równowagi i perspektywy różnych instrumentów, lecz również powinno wywoływać estetycznie zadowalający efekt usytuowania przestrzennego obrazu dźwiękowego na scenie przy odtwarzaniu. Ten warunek jest często trudno spełnić bez wprowadzenia zmian w normalnym uszykowaniu orkiestry; zmian zależnych od granego utworu i typu orkiestry.

Wydaje się, że na ogół jedna główna para stereofonicznych mikrofonów, odpowiadająca pojedynczemu mikrofonowi głównemu w monofonii, powinna wystarczyć do wywołania efektu odpowiedniej perspektywy w zasadniczym obrazie dźwięku. W przypadkach koniecznych mogą być jednak użyte z umiarem pomocnicze mikrofony, pojedynczo lub parami. Wielomikrofonowe urządzenia będą więc w dalszym ciągu stosowane do przekazywania lekkiej muzyki i scen dramatycznych, chociaż potrzeba specjalnego uwydatnienia gry solistów będzie prawdopodobnie mniejsza niż w systemie monofonicznym. Jednak trzeba zwrócić na to uwagę, że wielomikrofonowe urządzenia mogą doprowadzić tak jak w monofonii do nieodpowiednich perspektyw przy odtwarzaniu i ponadto, w związku z dostarczaną informacją miejsca - do powstawania szeregu obrazów tych samych dźwięków ukazujących się jednocześnie w paru miejscach na scenie. W audycjach wymagających pogłosu efekt ten może być uzyskany bądź umieszczeniem stereofonicznej pary mikrofonów w pomieszczeniu nie tłumionym, bądź też w sposób sztuczny za pomocą mechanicznego rewerberatora, np. w postaci stalowej płyty.

### 3.3. Pseudostereofonia

Były czynione próby uzyskania z sygnału monofonicznego akustycznych wrażeń przestrzennych, podobnych do tych, które występują przy odtwarzaniu stereofonicznym, tylko oczywiście bez oryginalnej informacji miejsca źródła dźwięku. Odpowiednią nazwą dla takich efektów dźwiękowych jest pseudostereofonia.

Niektóre metody wykorzystują do tego celu specjalne układy głośnikowe; ich opis nie będzie jednak podany, gdyż wykracza poza ramy tej monografii. Natomiast szczególnie interesujące i na temat są urządzenia przekształcające sygnał monofoniczny w dwa nowe sygnały, które doprowadzone do dwóch głośników zainstalowanych jak do odbioru stereofonicznego, wywołują subiektywne odczucie wypełnienia całej sceny obrazami dźwięku.

Pseudostereofoniczny efekt można więc uzyskać przez wprowadzenie monofonicznego sygnału do dwóch kanałów stereofonicznych poprzez układy, które zmieniają stosunkowe amplitudy i fazy dwóch wyjściowych sygnałów, a przez to i miejsca obrazów dźwięku na scenie w zależności od częstotliwości. Taki dowolny rozkład przestrzenny dźwięków, dopuszczalny dla szumów o ciągłym widmie, może dać jednak niepożądane efekty słuchowe w przypadku, gdy obraz dźwięku pochodzący od jednego instrumentu zmienia swe miejsce na scenie w zależności od wysokości tonu. Tym niemniej urządzenie działające według opisanej zasady, znane pod nazwą "Stereofon" /wymyślone przez znanego kompozytora Hermana Scherchena/ jest produkowane w

Anglii na użytek domowy. Aparat został dostosowany przede wszystkim do muzyki symfonicznej w ten sposób, że rozkład miejsc obrazów dźwięku na scenie możliwie ściśle odpowiada normalnemu uszykowaniu orkiestry z dźwiękami niskiej częstotliwości po prawej i wysokiej częstotliwości po lewej stronie.

Pseudo-stereofoniczne efekty w rodzaju opisanych znalazły już zastosowanie w stereofonii przy wytwarzaniu specjalnych szumów tła w pewnych akcjach dramatycznych. Dalsze, poważniejsze wykorzystanie w rozgłaszaniu stereofonicznym może nastąpić w pewnych częściach programu, dla których pełna stereofoniczna transmisja jest bądź niewykonalna, bądź też niepotrzebna.

#### 3.4. Studyjne urządzenia kontrolne

Ilość aparatury kontrolnej do obsługi studia na programy stereofoniczne odpowiada z grubsza biorąc tej, jaka jest normalnie potrzebna na zdwojoną liczbę kanałów. Należyte opracowanie tych urządzeń wymaga jednak wzięcia pod uwagę szeregu dodatkowych wymagań.

Wszystkie znane układy mikrofonowe w stereofonii wymagają pewnej regulacji elektrycznej do kontroli skali szerokości odtwarzania dźwięków, innymi słowy do kontroli stosunku kątów odchylenia źródła i jego obrazu dźwiękowego. W przypadku układu z trzema mikrofonami elementem wymagającym regulacji jest stosunkowy udział środkowego i bocznych mikrofonów w obu sygnałach wyjściowych, podczas gdy w układzie z dwoma mikrofonami kontro-

la skali szerokości odbywa się za pośrednictwem zmiany wprowadzanych sprzężeń przesłuchu między kanałami lewym i prawym.

Jeżeli efekty stereofoniczne powstają z różnic wielkości sygnałów w obu kanałach, to stwierdzono, że skala szerokości jest zależna od częstotliwości z winy pewnych czynników subiektywnych jeszcze bliżej nie wyjaśnionych. System E.M.I. stara się temu zaradzić stosując odpowiednią korekcję za pomocą układów wyrównawczych z kompensacją fazy. W mieszanych układach mikrofonowych tego rodzaju korekcje nie mogą być wprowadzane do głównego sygnału wyjściowego ze studia, mogą być natomiast użyte w poszczególnych obwodach mikrofonowych w miarę potrzeby.

Aby zapewnić właściwą równowagę sygnałów w kanałach lewym i prawym, należy zastosować szereg ulepszeń w wyposażeniu kontrolnym studia. W szczególności lewostronne i prawostronne tłumiki, służące do wyrównywania poziomu kanałowych, grupowych i głównych sygnałów wyjściowych ze studia, jak również szeregu innych obwodów, powinny być mechanicznie ze sobą sprzężone i posiadać skokowo drobniejszą regulację tłumienności niż w monofonicznym sprzęcie kontrolnym, dla zmniejszenia błędu powstałego z niedokładnej współbieżności. Ponadto, do korzystania ze źródeł monofonicznych potrzebne są potencjometry panoramiczne, których pewną ilość należy zainstalować w urządzeniu. Każdy potencjometr powinien składać się z pary współbieżnych tłumików o specjalnej charakterystyce z odwrotnym kierunkiem działania.

### 3.5. Akustyka studia

Jest jeszcze za wcześnie, aby orzec, czy akustyka studia przeznaczonego do celów monofonicznych będzie wymagać zmian przy przejściu na audycje stereofoniczne. Naogół sądzi się, że większość studiów orkiestrowych będzie nadawać się bez zmian do tego celu, choć mogą wystąpić potrzeby zupełnie innego uszykowania mikrofonów. W studiach przeznaczonych na programy rozrywkowe i sztuki dramatyczne podstawowym czynnikiem w uzyskaniu właściwego efektu jest technika wielomikrofonowa. Doświadczenia wskazują, że mogą tu czasem wystąpić trudności ujęcia stereofonicznego różnych fragmentów przedstawienia i że w takich przypadkach pewne skrócenie pogłosu studia bywa pomocne.

### 3.6. Systemy głośnikowe do stereofonii domowej

Obecnie produkowany sprzęt do odtwarzania w mieszkaniu nagrań stereofonicznych posiada, z małymi wyjątkami, parę nominalnie identycznych głośników, przewidzianych do zainstalowania w odległości od 1,5 do 3 metrów jeden od drugiego. We wstępie była już mowa o sposobach prowadzących do częściowego uniezależnienia miejsc obrazów dźwięku na scenie od usytuowania słuchacza w stosunku do głośników. Propozycje użycia głośników o specjalnie dopasowanej charakterystyce kierunkowej promieniowania akustycznego napotykają jednak duże trudności wykonawcze i dzisiejsze opracowania dążą raczej do zmniejszenia ich

własności kierunkowych, zwłaszcza w płaszczyźnie poziomej.

Inny sposób czasem stosowany w praktyce polega na tym, że lewy i prawy głośnik odtwarzają częstotliwości tylko wyższe od około 300 Hz, dolne pasmo częstotliwości akustycznych przekazuje natomiast trzeci głośnik zainstalowany pośrodku między dwoma poprzednimi. Zasada działania tego uproszczonego sposobu zaradczego zasługuje na pewne omówienie, gdyż obniża ona koszt i wielkość sprzętu.

W związku ze zmniejszoną dokładnością odczucia kierunku przy małych częstotliwościach źródła dźwięku, powstała myśl całkowitego zaniechania transmisji danych o kierunku w stereofonii na małych częstotliwościach akustycznych. Gdyby sposób ten nie wpływał ujemnie na ostateczny wynik słuchowy, wtedy uległyby uproszczeniu nie tylko urządzenia głośnikowe, lecz również niektóre systemy wielokrotnej transmisji dzięki temu, że poniżej pewnej częstotliwości akustycznej sygnały lewy i prawy mogłyby być identyczne. Na ogół każdemu dźwiękowi niskiej częstotliwości towarzyszą pewne składniki o większych częstotliwościach, które same przez się wystarczają do wskazania właściwego miejsca źródła czy obrazu dźwięku. Jakkolwiek to założenie w większości przypadków jest słuszne w stosunku do dźwięków bezpośrednio dochodzących do mikrofonu, to jednak nie może mieć ono zastosowania do dźwięków z pogłosu, gdyż wtedy składniki o większych częstotliwościach są zwykle bardziej tłumione w pomieszczeniu i w każdym razie nie dochodzą już



do mikrofonu zgodnie ze składnikami niskiej częstotliwości. Przeto zaniechanie transmisji danych o kierunku na częstotliwościach poniżej 300 Hz ma ten skutek, że odpowiednie składniki dźwięku z pogłosu, które przy dobrym odtwarzaniu stereofonicznym pomagają do uzyskania wrażenia szerokości i przestrzenności są w tym przypadku słyszane tak, jakby pochodziły z wąskiego pasa w środku sceny. Z powyższego wynika wniosek, że o ile wprowadzenie zasady nieprzenoszenia danych o kierunku na małych częstotliwościach w sprzęcie odtwarzającym może być do pewnego stopnia uzasadnione względami ekonomicznymi, to w zastosowaniu do sprzętu nadawczego byłoby to zbyt ugodowym wyjściem z sytuacji i miało ogólnie ujemny wpływ na zalety systemu stereofonicznego.

#### 4. PODSTAWOWE ZAGADNIENIA ODPOWIEDNIOŚCI

##### 4.1. Uwagi ogólne

Termin "odpowiedniość" w zastosowaniu do stereofonicznego przenoszenia dźwięków można interpretować różnie w zależności od tego, z jakiego punktu widzenia rozpatruje się to zagadnienie. Ogólnie zasadę odpowiedniości można sformułować jako jednoczesną transmisję optymalnej wersji stereofonicznej i optymalnej wersji monofonicznej tego samego programu bez użycia dodatkowych kanałów komunikacyjnych i ponadto dla wersji monofonicznej bez użycia dodatkowego urządzenia odbiorczego.

#### 4.2. Wpływ typu audycji

Dla organizacji programowych zagadnienie odpowiedniości powstaje już przy planowaniu programu audycji. Nie wszystkie bowiem typy audycji zyskują na wersji stereofonicznej i choć dla większości wartość rozrywkowa audycji rośnie, to są jednak również typy, które z dodatkowego wymiaru nie pndoszą korzyści. Z powyższego wynika, że nawet wtedy, gdy są spełnione wszystkie wymagania techniczne na odpowiedniość, trzeba wiedzieć z góry na podstawie wartości rozrywkowej, które pozycje programu nadają się lepiej do przekazywania monofonicznego, bądź stereofonicznego, a które do nadawania w obu wersjach jednocześnie.

#### 4.3. Tworzenie sygnału monofonicznego

Przed wszystkim należy zauważyć, że "odpowiedni" typ audycji wymaga specyficznego rozmieszczenia zestawu mikrofonów. Bywa czasem, że dwa nadajniki, na przykład jeden średnioletowy i drugi ultrakrótkoletowy rozgłaszają identyczny program, obsługując tę samą okolicę. Wydawałoby się więc, że nadając w każdym kanale sygnał pochodzący z oddzielnego mikrofonu będzie można łatwo uzyskać jedną transmisję stereofoniczną i jednocześnie dwie monofoniczne. Tymczasem takie urządzenie jest w praktyce dalekie od zadowalającego, gdyż oba sygnały stereofoniczne pochodzą od mikrofonów, które przez swe skierowanie lub rozmieszczenie uwydatniają dźwięki lewe lub

prawie. W tych okolicznościach im więcej audycja korzysta z potencjalnych możliwości stereofonii, tym bardziej jednostronny /lewy lub prawy/ staje się odbiór monofoniczny z poszczególnych kanałów. System mający na celu przezwyciężenie tych trudności będzie opisany dalej w rozdz. 6.2.

Większość propozycji dotyczących odpowiedniego systemu radiofonicznego przewiduje jednak możliwość wykorzystania jednego kanału wielkiej częstotliwości do jednoczesnego przenoszenia wersji stereofonicznej i monofonicznej. Wszystkie dotychczasowe projekty opierają się w zasadzie na tym samym sposobie wytwarzania sygnału monofonicznego za pomocą mieszania - przeważnie zwykłego dodawania - dwóch sygnałów stereofonicznych. Przy okazji należy zauważyć, że stereofoniczne płyty nagrane systemem ostatnio znormalizowanym, gdy są odgrywane za pomocą monofonicznej głośnicy adaptera, również odtwarzają sumę lewych i prawych sygnałów stereofonicznych.

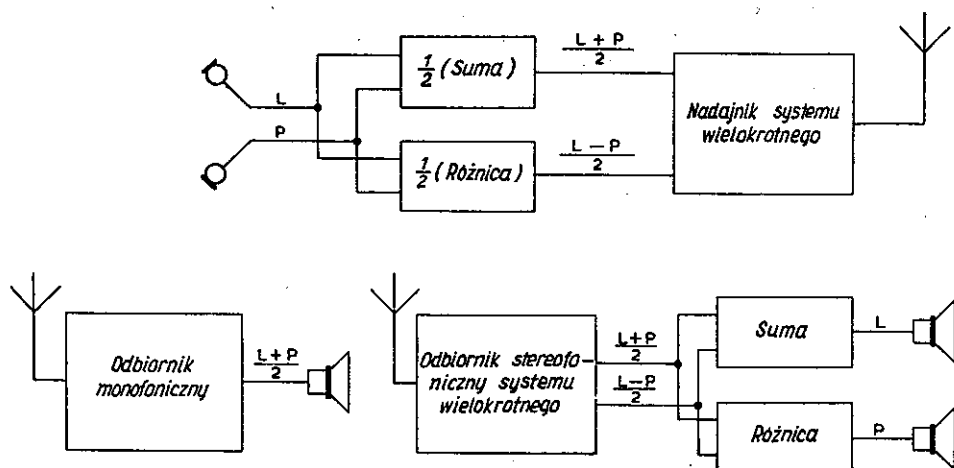
Metoda ta wydaje się być dla postawionych wymagań najwłaściwsza, mimo że pojedyncza grupa mikrofonów użyta do jednoczesnej transmisji monofonicznej i stereofonicznej nie daje możliwości takiego rozmieszczenia mikrofonów, które byłoby optymalne dla każdej z nich oddzielnie. Poza tym z dodawania lewych i prawych sygnałów powstają wrażenia podobne do tych, jakie dają się odczuć przy jednym mikrofonie o kierunkowej charakterystyce, która jest przecież nie zawsze odpowiednia do monofonii. W prostych przypadkach można znaleźć często wyjście kompromisowe przez odpowiednią modyfikację rozmie-

szczenia wykonawców i mikrofonów w studio, lecz i tu należy się liczyć z pewnymi wyjątkami szczególnie wtedy, gdy transmisja monofoniczna wymaga użycia wielu mikrofonów.

#### 4.4. Metoda sumy i różnicy sygnałów

Oprócz sumarycznego sygnału /lewego i prawego mikrofonu który jest odpowiedni dla monofonii, urządzenie nadawcze powinno dostarczać jeszcze dane o kierunku za pośrednictwem dodatkowego sygnału przesłanego właściwym systemem wielokrotnym, tj. w pasmie częstotliwości leżących na zewnątrz normalnego zakresu częstotliwości akustycznych, bądź też za pomocą innej modulacji, której typ nie wywołuje zakłóceń w odbiorze monofonicznym. Większość propozycji dotyczących jednokanałowej transmisji stereofonicznej przewiduje użycie do tego celu różnicy mikrofonowych sygnałów lewego i prawego. Uproszczony schemat blokowy ilustrujący powyższą zasadę działania odpowiedniego systemu stereofonicznego przedstawia rys.1. Odbiornik stereofoniczny wyławia sygnał różnicowy i w miarę potrzeby przesuwając go do wyjściowego zakresu częstotliwości akustycznych, aby następnie połączeniu z sumarycznym sygnałem, tj. w wyniku prostego dodawania i odejmowania, wydzielić sygnały pierwotne - lewy i prawy. Szereg radiowych systemów przesyłowych stosujących tę zasadę będzie omówiony w rozdz. 6.

W stereofonicznych systemach wykorzystujących dwa identyczne, przyległe kierunkowe mikrofony, z których je-



Rys. 1. Zasada działania odpowiedniego, wielokrotnego systemu stereofonicznego

den jest zwrócony w lewo a drugi w prawo, sygnał sumaryczny może być również uzyskiwany bezpośrednio z jednego mikrofonu skierowanego na wprost, zaś sygnał różnicowy z drugiego mikrofonu mającego charakterystykę kierunkową w formie ósemki i obróconego w stosunku do pierwszego mikrofonu o kąt prosty. Ta metoda uzyskiwania sumy i różnicy sygnałów jest znana pod nazwą mikrofonowego systemu "środkowo-bocznego" lub w skrócie angielskim M-S. Z punktu widzenia nowoczesnej techniki oba rozwiązania są jednakowo dobre i o żadnym z nich nie można powiedzieć, że nadaje się bardziej do odpowiedniego systemu stereofonicznego.

## 5. ZAGADNIENIA WYSTĘPUJĄCE W PRZEWODOWYCH ŁĄCZACH RADIOFONICZNYCH

### 5.1. Uwagi ogólne

Przy stereofonicznym odtwarzaniu miejsce obrazu dźwięku zależy od stosunkowych amplitud i faz dźwięków, które dochodzą do słuchacza z dwóch głośników. Dokładna lokalizacja obrazu zależy więc od precyzji dopasowania charakterystyk dwóch kompletnych łańcuchów telekomunikacyjnych od mikrofonu aż do głośnika. Jeżeli wymaganie to nie będzie całkowicie z jakiegoś powodu spełnione, jak np. przez użycie różnych głośników, wtedy miejsce instrumentu muzycznego lub aktora na scenie może być niewyraźnie zaznaczone i obraz dźwięku przesunięty w lewo lub w prawo. Stwierdzono doświadczalnie, że mimo tego ogólne wrażenia przestrzenności, które cechują stereofonię, nadspodziewanie dobrze się utrzymują, tak że nawet dźwięki pochodzące ze skrajnych lewych i prawych pozycji nie tracą dużo na swej wartości. Chociaż takie quasi-stereofoniczne wrażenia słuchowe są na ogół bardziej lubiane od monofonicznych, to jednak znacznie one ustępują tym, jakie są uzyskiwane przy dokładnym dopasowaniu charakterystyk obu łańcuchów telekomunikacyjnych i nie mogą być porównywane z wrażeniami, jakie dają dobre stereofoniczne adaptory domowe.

Największe trudności w dopasowaniu charakterystyk obu łańcuchów telekomunikacyjnych występują w radiowych łączach - od studia do nadajnika. Długość tych łączy waha się w szerokich granicach i zwykle jest nie mniejsza

od kilkunastu kilometrów, a może równie dobrze wynosić kilkaset lub nawet przeszło tysiąc kilometrów.

### 5.2. Wpływ zmiany tłumienia w łączach

Stabilność linii i urządzeń w dzisiejszych łączach radiofonicznych powinna być na tyle dobra, żeby dzienne wahania tłumienności nie przekraczały  $\pm 1$  dB w środkowym pasmie przenoszonych częstotliwości. Większe odchylenia niż podana wartość, jakie czasem się zdarzają, są zwykle wynikiem przełączania obwodów oraz regulacji wzmocnień w związku z potrzebami służby i wtedy powinny być one korygowane na bieżąco przez obsługę techniczną.

Jeżeli dwa takie łącza zostaną wykorzystane do przenoszenia lewych i prawych sygnałów stereofonii, wtedy różnica ich tłumienności może wynieść 2 dB w środkowym pasmie częstotliwości. Ta różnica wystarczy, aby wszystkie obrazy dźwięków, znajdujące się normalnie w środkowej części sceny, zostały przesunięte w bok o około 7 % szerokości sceny.

### 5.3. Wpływ różnicy w charakterystykach częstotliwości

Normalna tolerancja w charakterystyce częstotliwości wynosi dla łącza radiofonicznego o długości 1300 km 4,5 dB różnic poziomu w zakresie od 50 Hz do 7 kHz. Gdyby te różnice były nawet rozłożone symetrycznie powyżej i poniżej wartości dla pasma częstotliwości środkowych, wtedy dwa takie łącza wyregulowane na jednakową tłumien-

ność w pasmie środkowym mogą się jeszcze różnić w innych częściach zakresu o 4,5 dB. Z tego wynika, że sama nierówność charakterystyk częstotliwości takich łączy może wywołać przesunięcie obrazu dźwięku o około 16 % szerokości sceny.

Należy zwrócić uwagę, że chociaż charakterystyki częstotliwości nominalnie jednakowych głośników mogą wykazywać różnice dochodzące na pewnych częstotliwościach do  $\pm 5$  dB, to jednak ogólne tendencje wyrównania charakterystyk łączy nie tracą przy tym nic na znaczeniu.

#### 5.4. Wpływ różnicy czasu w opóźnieniach grupowych

W dłuższych łączach radiofonicznych opóźnienia grupowe mogą wynosić 20 milisekund dla środkowego pasma, dla górnego pasma mogą się zwiększać o około 30 %, a dla dolnego pasma częstotliwości akustycznych mogą znacznie przekraczać tę wartość. O ile więc nie będą zastosowane specjalne środki zaradcze, dwa takie łącza mogą wykazać różnice w czasie opóźnień dochodzące do paru milisekund. Rezultatem tej różnicy opóźnień jest przesunięcie obrazu stereofonicznego w lewo lub w prawo oraz w pewnych przypadkach utrata wyrazistości obrazów w środku sceny.

Wyniki badań wskazują, że te zjawiska zanikają, gdy różnica opóźnień grupowych w obu łączach stereofonicznych nie przekracza 0,25 milisekund dla środkowego pasma przenoszonych częstotliwości. Spełnienie tak ostrych wymagań w dzisiejszych łączach radiofonicznych, chociaż technicznie jest to możliwe, byłoby zbyt kosztowne i pra-



cochłonne, tym bardziej że łącza w zestawach ulegają przełączeniom w zależności od potrzeb służby.

Gdy mamy do czynienia z odpowiednim systemem radiofonicznym, wykorzystującym sygnały sumaryczne i różnicowe, wtedy wymagania dotyczące wyrównania opóźnień grupowych są jeszcze ostrzejsze. W przypadku sumowania lewych i prawych sygnałów tuż przed ich wprowadzeniem do nadajnika powstaje z winy opóźnień fazowych w łączach poważna nieregularność charakterystyki częstotliwości z zanikami w odstępach. I tak przy 0,25 msek różnicy opóźnień pierwszy zanik występuje na 2 kHz, przesunięcie zaś zaniku poza 8 kHz wymaga zmniejszenia różnicy opóźnień wyższych częstotliwości akustycznych do 0,06 msek.

W celu ominięcia tych trudności można tworzyć sygnały sumaryczny i różnicowy bezpośrednio w studyjnym urządzeniu kontrolnym i przesyłać je dwoma łączami do nadajnika. W tym przypadku zniekształceń w odbiorze monofonicznym nie będzie, lecz za to pojawiają się one w stereofonii szczególnie w obrazach dźwięków, dla których w oryginale brak jest sygnału lewego lub prawego. Ponadto na częstotliwościach sygnału różnicowego uzyskujących pełne odwrócenie fazy wystąpi zjawisko przemiany miejsc lewych i prawych obrazu. Należy również zauważyć, że dla tych części systemu stereofonicznego, które przenoszą oddzielnie sygnały sumaryczny i różnicowy, nawet zupełnie małe różnice w charakterystykach amplitudy i fazy obu łączy wywołują zjawisko przesłuchu między lewo i prawostronnymi sygnałami. Istnieją propozycje, aby w systemie radiofonicznym tłumienność przesłuchu była lep-

sza od 20 dB. Aby te wymagania spełnić w stereofonii, charakterystyki łączy sumarycznego i różnicowego nie mogą się różnić więcej niż o 1,8 dB w tłumienności lub  $11^{\circ}$  w fazie. Ponieważ różnice amplitudowe i fazowe występują na ogół równocześnie, w praktyce więc będą wymagane jeszcze mniejsze tolerancje.

### 5.5. Inne łącza radiofoniczne

Z przedstawionego tu obrazu zagadnień można wyprowadzić wniosek, że dzisiejsze przewodowe łącza radiofoniczne nie nadają się do wykorzystania w odpowiednim systemie stereofonicznym. Dlatego w ogólnokrajowej sieci tego systemu będzie prawdopodobnie trzeba zastosować innego rodzaju łącza, jak np. systemu nośnego lub linii radiowych. W międzyczasie właściwym wyjściem z sytuacji byłoby korzystanie w miarę możliwości z audycji miejscowych i nagrań wychodzących z centrów radiofonicznych położonych niezbyt daleko od nadajników w celu uniknięcia potrzeby przesyłania stereofonicznych sygnałów po długich trasach międzymiastowych.

## 6. SYSTEMY NADAWCZE

### 6.1. Uwagi ogólne

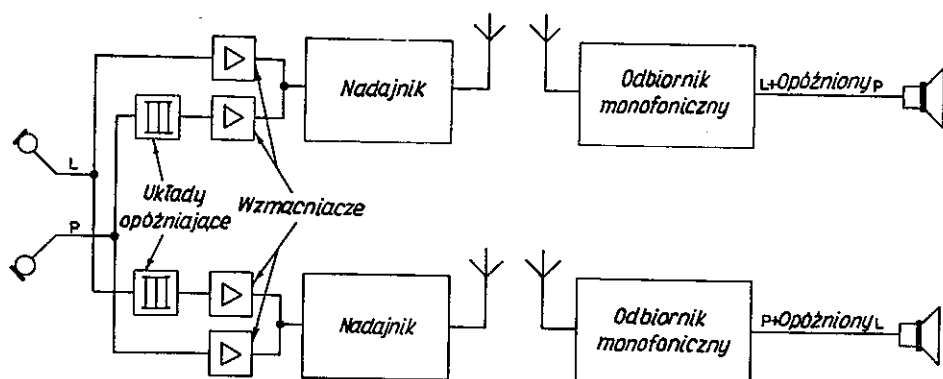
Nawet w streszczeniu nie jest łatwo przedstawić proponowane metody nadawania audycji stereofonicznych na obecnie używanych kanałach radiowych ze względu na szybki postęp w tej dziedzinie. Do Krajowego Komitetu Ste-

reofonii Radiowej w Stanach Zjednoczonych wpłynęło do marca 1959 roku siedemnaście wniosków na różne systemy mogące mieć zastosowanie w telewizji i radiofonii AM i FM. Dla większości tych, jak i innych pochodzenia europejskiego, systemów brak jest jednak dokładniejszych danych technicznych i dlatego tutaj będą podane tylko podstawowe zasady działania niektórych bardziej interesujących rozwiązań.

## 6.2. Systemy wykorzystujące dwa kanały radiowe

Najbardziej bezpośrednim sposobem radiowego rozgłaszania stereofonicznego jest nadawanie lewo i prawostronnych sygnałów na dwóch różnych częstotliwościach radiowych. Jednak ani nadajnik z sygnałami lewostronnymi, ani nadajnik z sygnałami prawostronnymi nie będzie mógł dostarczyć zadowalającej audycji monofonicznej z przyczyn podanych w rozdz. 4.3.

W celu przezwyciężenia tych trudności został opracowany w laboratoriach Bella system, którego szkic przedstawia rysunek 2. Polega on na odpowiednim zmieszaniu sygnałów lewo i prawostronnych, a mianowicie: - do nadajnika z sygnałem prawostronnym jest doprowadzany sygnał lewostronny - i odwrotnie - poprzez układ wywołujący małe opóźnienia czasowe /wg projektu od 5 do 30 milisekund/. Tym sposobem każdy kanał radiowy zawiera dane obustronne, co przy zrównoważonym udziale lewego i prawego sygnału pozwala na odpowiedni monofoniczny odbiór audycji. Do odbioru stereofonicznego są wykorzystywane oba kanały jednocześnie i wtedy miejsce obrazu tych sa-



Rys. 2. Stereofoniczny system Bella o dwóch kanałach monofonicznych

mych dźwięków określa dźwięk, który pierwszy dochodzi do uszu słuchacza, wrażenie znane pod nazwą zjawiska "pierwszeństwa" lub też Hassa. Dzięki temu opóźnione sygnały nie zakłócają obrazu stereofonicznego. W nowszych rozwiązaniach skrócone sygnały mają opóźnienia 10 msek i dodatkowo wprowadzoną tłumienność 1,5 dB, lecz jak wynika z doświadczeń optima wartości opóźnień i tłumienia zmieniają się zależnie od rodzaju audycji.

Jednak i w tym systemie nie do uniknięcia jest pewne pogorszenie jakości odbioru, które powstaje wtedy, gdy pochodzące od jednego źródła dźwięku sygnały lewy i prawy mają zbliżone wielkości amplitud. Zjawiają się wtedy dwie wersje tego samego dźwięku nieco przesunięte w czasie, co przy opóźnieniu paromilisekundowym daje odczucie przybrzęku, a przy większym od 20 milisekund - wrażenie pojedynczego echa. Najmniej odczuwalne są przesunięcia o czasach pośrednich.

### 6.3. Systemy dwukrotne w jednym kanale częstotliwości radiowej

W rozdziale 4 była już mowa o tym, że w odpowiednim systemie stereo-radiofonicznym suma lewych i prawych sygnałów /lub też inna przyjęta kombinacja tych sygnałów/ musi być nadawana za pomocą normalnie stosowanego typu modulacji w celu należytego obsłużenia monofonicznych odbiorców. W związku z tym, każdy odpowiedni, wielokrotny system, który dostarcza do użytku monofonicznego sygnał sumaryczny, musi jednocześnie nadawać sygnał różnicowy do łącznego ich wykorzystania w odbiorze stereo-fonicznym - co szkicowo zaznaczono na rysunku 1. Od czasu do czasu ukazują się wzmianki, że zadowalające wyniki można uzyskać również w przypadku, gdy sygnał różnicowy nie zajmuje tak szerokiego pasma częstotliwości akustycznych, jak tego wymaga sygnał sumaryczny. W jednym przypadku proponowano ograniczenie pasma sygnału różnicowego do 2 kHz, a w drugim nawet do 500 Hz. Trzeba jednak zdawać sobie sprawę, że dźwięki z tej części zakresu częstotliwości, w której wystąpi brak sygnału różnicowego, będą odtwarzane z jednakową siłą przez dwa głośniki i wobec tego miejsce ich obrazu wypadnie zawsze w pobliżu środka sceny. O wadach mniejszych częstotliwości była wzmianka w rozdz. 3.6., natomiast utrata wrażeń stereofonicznych na wysokich tonach daje się wyrazić odczuć nawet przy szerokopasmowym sprzęcie, w którym górna granica częstotliwości dla sygnału różnicowego sięga 5 kHz. Dlatego zarówno w Europie jak i Ameryce

istnieje zainteresowanie systemami wielokrotnymi o pełnej szerokości pasma dla obu sygnałów, sumarycznego i różnicowego.

Systemy stereo-radiofoniczne można podzielić na dwie grupy: na projektowane do średniofalowej radiofonii, gdyż są odpowiednie tylko do transmisji z modulacją amplitudy, i na projektowane do ultrakrótkofalowej radiofonii z modulacją częstotliwości. Co się tyczy zastosowania stereofonii do telewizji to na razie brak jest koncepcji, lecz odpowiednie systemy będą prawdopodobnie prostą adaptacją tych, które zostaną przyjęte do radiofonii.

#### 6.3.1. Systemy wielokrotne przystosowane do transmisji z modulacją amplitudy

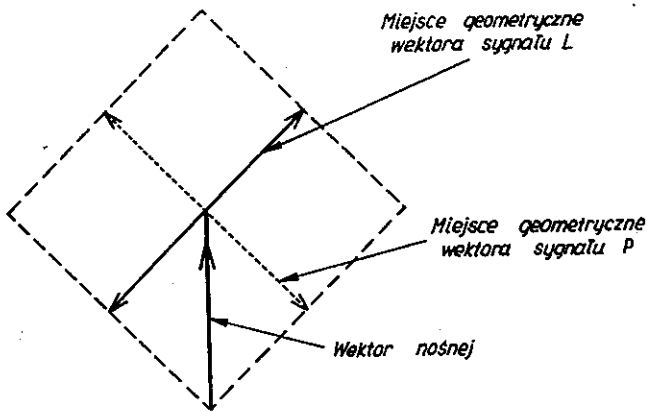
Znacznym zainteresowaniem cieszą się w Stanach Zjednoczonych metody za pomocą których można będzie wykorzystać normalne kanały radiofoniczne z zakresu fal średnich do odpowiedniego rozgłaszania stereofonicznego. Z uzyskanych danych wynika, że wszystkie proponowane systemy wielokrotne wykorzystują tę samą zasadę - zasadę jaką przedstawia szkic z rysunku 1 - i nadają składnik  $1/2$  /L+P/ modulacją amplitudy. Istnieje jednak szereg różnych propozycji dotyczących skutecznej metody przesyłania sygnału różnicowego, mimo że wszystkie one stosują częstotliwościową lub fazową modulację głównej fali nośnej w takt sygnału różnicowego. W tablicy 1 są zestawione główne systemy i podane dla nich typy modulacji, które wy-

## Systemy do transmisji z modulacją amplitudy

Systemy i projektodawca	Modulacja przy sygnale L, bez sygnalu P	Modulacja przy sygnale $1/2/L-P$ , bez sygnalu $1/2/L+P$	Częstotliwości na których nie ma sygnału $1/2/L-P$
a/ Philco Corporation Column-bia Broadcasting System	Synchroniczna amplitudy i fazy	Fazy $/\pm \pi/4$ radiana maks./	$< 300$ Hz
b/ R.C.A. /1958/ Kahn Laboratories	Jednowstęgowa amplitudy i fazy z kwadraturą faz/	Fazy $/\pm \pi/4$ radiana maks./	Nie wiadomo
c/ Westinghouse, General Electric	Synchroniczna amplitudy i fazy	Częstotliwości $/\pm 3$ lub $4$ kHz dowolnej maks./	$< 300$ Hz $> 3000$ Hz

stąpią w dwóch szczególnych stanach transmisji. Przy braku sygnału różnicowego we wszystkich systemach pozostaje tylko normalna modulacja amplitudy z dwoma wstęgami bocznymi.

Gdy w systemie a/ występuje tylko sygnał L lub P, wtedy koniec wypadkowego wektora radiowej częstotliwości porusza się po ukośnej względem wektora fali nośnej, jak to wynika z rysunku 3. Taki sygnał można uzyskać w prak-



Rys. 3. System Philco do transmisji z modulacją amplitudy

tyce przez połączenie wyjść dwóch zwykłych nadajników AM, których fale nośne mając tę samą częstotliwość różnią się fazą o  $90^\circ$ , przy czym jeden nadajnik jest modulowany sygnałem L, a drugi sygnałem P. Ogólnie zasada działania <sup>systemu</sup> polega na tym, że koniec wektora częstotliwości radiowej z rysunku 3 przesuwają się z pozycji bez sygnału na odległość proporcjonalną do amplitudy sygnału L w



kierunku równoległym do jednej z osi pochylonej pod kątem  $45^\circ$  i na odległość proporcjonalną do amplitudy sygnału P w kierunku równoległym do drugiej osi pochylonej pod kątem  $45^\circ$ . Sygnał sumaryczny  $1/2/L+P/$  jest obarczony, z wyjątkiem kiedy  $L=P$ , pewnymi zniekształceniami nieliniowymi, które zwiększają się wraz z głębokością modulacji. Wobec tego dopuszczalna głębokość modulacji w tym systemie będzie od przyjętych norm dla odbioru monofonicznego.

Podobne ograniczenie występuje również w systemie b/, który tym się charakteryzuje, że jedna wstęga boczna przenosi sygnał L, a druga sygnał P. Wydaje się jednak, że R.C.A. ma zamiar zmniejszyć zniekształcenia obwiedni sygnału częstotliwości radiowej za pomocą wstępnej korekcji. System c/ natomiast wprowadza modulację częstotliwości fali nośnej w takt sygnału  $1/2/L-P/$  i następnie stosując zwykłą modulację amplitudy kształtuje obwiednię sygnału częstotliwości radiowej zgodnie z przebiegiem  $1/2/L+P/$ . W celu zmniejszenia zniekształceń w odbiorze sygnału AM /z obecną w sygnale modulacją częstotliwości/ wywołanych przez charakterystykę przenoszenia układu pośredniej częstotliwości zastosowano w nadajniku dopasowaną do typowego odbiornika radiowego kompensację w postaci dodatkowego składnika modulacji amplitudy, który jest funkcją dewiacji częstotliwości.

Stereofoniczny odbiornik dla systemu a/ może być wyposażony bądź w pojedynczy detektor fazy i detektor obwiedni dając odpowiednio sygnały  $1/2/L-P/$  i  $1/2/L+P/$ , bądź też w dwa detektory fazy, które łącznie z właściwy-

mi odnośnikami faz dają sygnały L i P bezpośrednio. W tym ostatnim przypadku unika się zniekształceń nieliniowych. Można ich również uniknąć w odbiorniku monofonicznym, o ile będzie zastosowana w nim detekcja fazy. Odbiornik w systemie b/ może wyławiać bezpośrednio sygnały L i P za pomocą dwóch filtrów /z których każdy przepuszcza tylko jedną wstęgę boczną/ i podłączonych do niego dwóch detektorów obwiedni. W systemie c/ sygnał różnicowy może być uzyskany wprost z dyskryminatora częstotliwości i łączony według schematu na rysunku 1 z sygnałem sumarycznym, który dostarcza detektor obwiedni. Odbiór stereofoniczny chociaż niezbyt wysokiej jakości może być uzyskany w systemie c/ również za pomocą dwóch zwykłych odbiorników, nieco rozstrojonych w przeciwnych kierunkach.

W 1958 roku R.C.A. zaniechało reklamy systemu b/, proponując nowy system podobny do c/ z tą różnicą, że wielkie częstotliwości w sygnale 1/2/L-P/ przed modulacją są wstępnie uwypuklane. W rezultacie przy małych częstotliwościach /poniżej ok. 1,5 kHz/ system ten odpowiada systemowi c/, przy większych zaś częstotliwościach, działa podobnie do systemu a/. Metody odbiorcze są takie same, jak w systemie c/ z tym, że po dyskryminatorze należy dodatkowo zastosować odpowiedni układ korekcji wtórnej /deemfazy/.

Pod koniec 1959 roku firma Philco zmodyfikowała nieco swój pierwotny system; metoda nadawania sygnału 1/2/L-P/ pozostała ta sama, tj. za pomocą modulacji amplitudy z przytłumioną nośną, która jest przesunięta

względem głównej nośnej o  $90^{\circ}$ , lecz nadawanie sygnału  $1/2/L+P/$  odbywa się teraz za pośrednictwem układu odpowiednio kształtującego obwiednię nośnej, a nie składników, które są z nią w fazie. Ten sposób nie wprowadza zniekształceń do odbioru monofonicznego, a w odbiorze stereofonicznym korzystniejszą metodą detekcji sygnału sumarycznego jest teraz detekcja obwiedni.

Wydaje się, że we wszystkich wyżej podanych systemach transmisyjnych stosunek sygnału do szumu w odbiorze monofonicznym jak i stereofonicznym nie będzie gorszy niż 3 dB od tego, jaki uzyskuje się przy normalnym nadawaniu z modulacją amplitudy. Do dokładniejszego określenia własności systemów potrzebne są bardziej szczegółowe dane techniczne.

#### 6.3.2. Systemy wielokrotne przystosowane do transmisji z modulacją częstotliwości

Rozgłośnie radiowe FM w Stanach Zjednoczonych są dziś na ogół wyposażone w urządzenia modulacji częstotliwości podnośnej dla dostarczania dodatkowego programu niektórym specjalnym abonentom, jak np. dużym magazynom, restauracjom itp., dając przez to dodatkowy dochód. Czasem jedno urządzenie nadawcze emituje nawet dwa niezależne programy poza normalną audycją radiową, używając do tego celu podnośne o częstotliwości 41 kHz i 67 kHz. Propozycja wykorzystania takiego systemu, którego główny kanał służyłby do przenoszenia sygnału lewego /L/ a jeden z dodatkowych /41 kHz/ do przenoszenia prawego /P/ napotkała te same zastrzeżenia co system wykorzystujący

dwa oddzielne kanały radiowe. Podobnie jak tam, również i w tym przypadku starano się uzyskać "odpowiedniość" systemu za pomocą właściwego zmieszania sygnałów lewo i prawostronnych.

Najbardziej obiecująco przedstawiają się jednak systemy, w których pojedyncza podnośna, modulowana w takt sygnału  $1/2/L-P/$  jest wprowadzana łącznie z sygnałem  $1/2/L+P/$  do modulatora częstotliwości nadajnika FM. Można tu odróżniać systemy z modulacją częstotliwości podnośnej od systemów z modulacją amplitudy podnośnej. Do tych ostatnich mogą być również zaliczone systemy wielokrotne z podziałem czasowym, które dla warunków na zmniejszoną szerokość pasma łatwo dają się przyrównać do systemów z podnośnymi.

#### I. Systemy do transmisji FM z modulacją częstotliwości podnośnej

Crosby zaprojektował system, w którym podnośna jest modulowana częstotliwościowo w takt sygnału  $1/2/L-P/$  i następnie wprowadzana łącznie z sygnałem o częstotliwości akustycznej  $1/2/L+P/$  do nadajnika FM. Poziomy obu wprowadzanych składników są tak dobrane, że wywołana nimi dewiacja częstotliwości nadajnika nie przekracza maksymalnej  $\pm 75$  kHz.

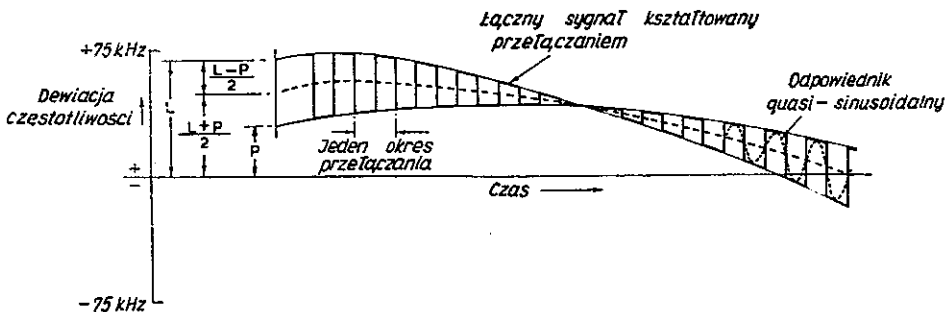
Dane systemu uległy od 1953 r. niewielkim zmianom. Przedstawia je tablica 2, gdzie w kolumnie /a/ są dane oryginalne systemu, w kolumnie /b/ dane z następnej wersji w 1958 r. i w kolumnie /c/ dane z ostatniego projektu.

## Systemy do transmisji FM z modulacją częstotliwości podnośnej

Kolejność systemu	/a/	/b/	/c/
Częstotliwość podnośnej	45 kHz	50 kHz	50 kHz
Maksymalna dewiacja podnośnej sygnałem 1/2/L-P/	$\pm 15$ kHz	$\pm 25$ kHz	$\pm 25$ kHz
Maksymalna dewiacja głównej nośnej /% od $\pm 75$ kHz/			
1/ sygnałem 1/2/L+P/	50 %	50 %	70 %
2/ sygnałem podnośnej	50 %	50 %	30 %
Teoretyczny stosunek sygnału do szumu względem normalnej w radiofonii FM dewiacji $\pm 75$ kHz			
1/ sygnał 1/2/L+P/	- 6 dB	- 6 dB	- 3 dB
2/ sygnał 1/2/L-P/	- 18,5 dB	- 15 dB	- 19,5 dB
3/ sygnały L lub P	- 16 dB	- 12,5 dB	- 16,5 dB

## II. Systemy z modulacją amplitudy podnośnej i systemy wielokrotne z podziałem czasowym

W dwukrotnym systemie podziału czasowego do jednego kanału telekomunikacyjnego są wprowadzane na zmianę za pomocą przełączania dwa sygnały - sygnał lewostronny /L/ i sygnał prawostronny /P/. Podłączając ten system do nadajnika FM uzyskuje się przebieg chwilowej częstotliwości nośnej podobny do tego, jaki dla idealnych warunków przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. System wielokrotny z podziałem czasowym

W tym systemie pełnookresowa częstotliwość przełączania powinna przekraczać co najmniej dwukrotnie największą częstotliwość akustyczną, aby powstałe między nimi zduńnienia znalazły się w zakresie częstotliwości ponad-słyszalnych. Za odpowiednią uważana jest częstotliwość 40 kHz. Jednak przełączanie nie powinno dawać harmonicznych, gdyż wprowadzanie do nadajnika FM częstotliwości większych od około 80 kHz /łącznie z modulującymi częstotliwościami akustycznymi/ wywołuje znaczne poszerze-

nie pasma emisji, co jest niepożądane ze względu na potrzebę utrzymania szerokości kanału radiowego w normalnych granicach.

W rezultacie powyższy system odpowiada systemowi, w którym podnośna 40 kHz jest modulowana amplitudowo w takt sygnału różnicowego  $1/2/L-P/$  i wprowadzona łącznie z sygnałem sumarycznym  $1/2/L+P/$  o częstotliwości akustycznej /tj. średnią wartością przebiegów L i P w obu czasowych kanałach/ do modulatora nadajnika FM. Należy dodać, że modulacja amplitudy podnośnej jest typu ze stłumioną nośną i dlatego istnieje potrzeba przesyłania do odbiornika sygnału kontrolnego o częstotliwości 20 kHz lub też 40 kHz ze stłumionej podnośnej. Ten dodatkowy składnik kontrolny ma nieznaczną moc i wywołana nim de-wiacja może być niewielka.

W tablicy 3 pod /a/ podano dla rozpatrywanego systemu teoretyczny stosunek sygnału do szumu. W obliczeniach przyjęto, że przełączanie sygnałów L i P odbywa się po układzie uwypuklającym /preemfazy/ o stałej czasu 50  $\mu$ sek, przy czym poziom tych sygnałów jest taki, że każdy z nich samodzielnie może wymodulować nadajnik całkowicie. Modulowana sygnałem różnicowym podnośna wg założeń ma przebieg quasisinusoidalny o takiej amplitudzie, jaką uzyskuje quasiprostokąt na rysunku 4. W praktyce sygnał stereofoniczny może być również wytwarzany metodą, w której sygnał różnicowy jest doprowadzany do zrównoważonego modulatora sterowanego podnośną 40 kHz, a uzyskany na wyjściu przebieg połączony w odpowiednim stosunku z sygnałem sumarycznym. Wobec tego, że widma szumu dla sy-

gnałów różnicowego na podnośnej i sumarycznego są różne, tablica 3 podaje wyniki obliczeń, w których uwzględniono zalecenie CCIR /1934/ o psfometrycznej korekcji szumów.

T a b l i c a 3

Systemy przystosowane do transmisji z modulacją częstotliwości przy wykorzystaniu podnośnej z modulacją amplitudy /Podnośna o częstotliwości 40 kHz/

Teoretyczne, psfometrycznie skorygowane stosunki sygnału do szumu w odniesieniu do własności normalnego systemu radiofonicznego FM o dewiacji  $\pm 75$  kHz

/a/ dwuwstęgowa modulacja amplitudy /stłumiona podnośna/

/1/ sygnał 1/2/L+P/	- 3 dB
/2/ sygnał 1/2/L-P/	- 28,5 dB
/3/ sygnały L lub P	- 25,5 dB

/b/ jednowstęgowa modulacja amplitudy /dolna wstęga/

/1/ sygnał 1/2/L+P/	- 3 dB
/2/ sygnał 1/2/L-P/	- 25 dB
/3/ sygnały L lub P	- 22 dB

#### U w a g i :

1. Maksymalna dewiacja nośnej przy modulacji sygnałem 1/2/L+P/ wynosi 71% dewiacji całkowitej  $\pm 75$  kHz /dla L i P nieskorelowanych/, wielkość sygnału podnośnej w systemie /a/ wyregulowana do całkowitej maksymalnej dewiacji  $\pm 75$  kHz.
2. Gdyby można było zmienić częstotliwość podnośnej z 40 kHz na 32 kHz, wtedy stosunek sygnału do szumu dla sygnałów różnicowego i stereofonicznych /L oraz P/ wypadłby lepszy o około 2 dB.



3. Cyfry nie uwzględniają stosunkowo małej dewiacji potrzebnej do przenoszenia sygnału kontrolnego podnośnej. Gdyby to zostało uwzględnione w obliczeniach, wtedy wszystkie wartości z tablicy 3 uległyby pogorszeniu prawdopodobnie o mniej niż 1 dB.

Systemy z dwuwstęgową modulacją amplitudy podnośnej zostały zaprojektowane przez "Zenith Radio Corporation" w Stanach Zjednoczonych i firmę Grundig w Niemczech.

Inny system, który jest modyfikacją opisanego powyżej, ogranicza szerokość pasma sygnałów modulujących za pomocą filtra dolnoprzepustowego o częstotliwości granicznej zbliżonej do częstotliwości podnośnej. Tym sposobem pasmo górne podnośnej zostaje zatrzymane, a przepuszczona część widma sygnału odpowiada jednowstęgowej modulacji. Obliczony dla tego systemu stosunek sygnału do szumu jest lepszy dla sygnałów stereofonicznych, co wskazuje tablica 3 pod /b/ w założeniu, że szum w pasmie górnym podnośnej jest nie przepuszczany przez filtr w odbiorniku. Tego typu system z podnośną około 30 kHz został zaproponowany przez Siemens w Niemczech i "Philco Corporation" w Stanach Zjednoczonych.

Sygnały różnicowy i sumaryczny zamiast prostokątnym przełączaniem mogą być równie dobrze tworzone metodą krótkich impulsów odwzorowujących na przemian przebiegi L i P pod warunkiem, że szerokość pasma sygnału na podnośnej będzie ograniczona do koniecznego minimum. Firma Mullard w Wielkiej Brytanii zaproponowała system, w którym przebiegi L i P są jednostronnie polaryzowane /przy stałym przedpięciu oba przebiegi są zawsze dodatnie/ i następnie odwzorowywane za pomocą półsinusoidal-

nych impulsów. Sygnał podnośnej zawiera wtedy składnik o częstotliwości dwukrotnej przełączeń. Zarówno ten składnik jak i dodatkowy mały synchronizujący sygnał o częstotliwości przełączeń, przesunięty w fazie o  $90^\circ$  względem podstawowego nośnika kontrolnego, są przesyłane do odbiornika, który dzięki temu może mieć uproszczoną konstrukcję. Jednak obliczony dla tego systemu stosunek sygnału do szumu wypada nieco gorszy niż dla systemów z tablicy 3, w założeniu, że całkowita dewiacja nośnej mieści się w tych samych granicach  $\pm 75$  kHz.

Są również wypowiedzi za wykorzystaniem systemu z nietkumioną podnośną, modulowaną amplitudowo sygnałem  $1/2/L-P/$  - systemu, który pozwala na najdalej uproszczoną konstrukcję odbiornika. Sygnał modulujący nadajnik FM zawiera wtedy składniki  $1/2/L+P/$  oraz powyższej zmodulowanej podnośnej. W odbiorniku po głównym dyskriminatorze, dostrojony do podnośnej obwód rezonansowy z prostym detektorem obwiedni na wyjściu wykawia sygnał  $1/2/L-P/$  - bądź też sygnały L i P mogą być bezpośrednio uzyskane z detekcji dodatnich i ujemnych obwiedni złożonego przebiegu. Tego typu systemy zostały zaproponowane przez General Electric Company w St. Zjednoczonych, przez Philipsa w Holandii, przez Radio-Telewizję we Francji oraz przez firmę Loewe w Niemczech. Z przeprowadzonych wstępnych prób w Holandii wynika - co było do przewidzenia - że ten prosty system nie daje tak dobrych wyników, jakie mogą być osiągnięte innymi bardziej rozbudowanymi systemami.

### III. Braki w ujęciu teoretycznym

Powyżej rozpatrzono podstawowe systemy wielokrotne przystosowane do nadajników FM i podano szereg cyfr teoretycznych nie zwracając uwagi na praktyczne możliwości urządzeń odbiorczych. Obecnie należy przeanalizować trudności techniczne, które mogą wpłynąć na własności odbiorników, a więc na jakość odbioru monofonicznego i stereofonicznego. Należy zauważyć, że teoretyczne wartości, które zostały podane dla względnych stosunków sygnału do szumu dotyczą w zasadzie tylko szumów własnych odbiornika lub ciągłego szerokopasmowego szumu zakłóceń. W praktyce natomiast ograniczają odbiór nie tyle szumy własne odbiornika, co różne zakłócenia zewnętrzne, szczególnie typu impulsowego. W stosunku do tych ostatnich zakłóceń podane wartości mogą być tylko przybliżonymi wskaźnikami.

W obliczeniach względnego /w odniesieniu do własności normalnego systemu radiofonicznego FM/ stosunku sygnału do szumu ogólnie przyjęto, że modulacja amplitudy ulega całkowitemu stłumieniu w odbiorniku, co w przypadku odbiornika stereofonicznego oznacza, że układy ograniczające amplitudę przed pierwszym detektorem powinny działać skutecznie w zakresie do 75 kHz, a nie tylko na częstotliwościach akustycznych. Ponadto, gdy znaczna część maksymalnej dewiacji  $\pm 75$  kHz jest zajęta przez sygnał podnośnej, wtedy poziom szumów własnych zwykłych odbiorników może nieco wzrosnąć - czego niema w idealnym przypadku, a co zostało zaobserwowane przy próbach z wielu odbiornikami. W rezultacie odbiór ste-

reofoniczny może mieć dla sygnału  $1/2/L+P/$  gorszy stosunek sygnału do szumu niż to wynika z przypadającej na ten sygnał dewiacji. Ten wpływ daje się szczególnie odczuć w systemie z modulacją częstotliwości podnośnej, w którym połowa /50%/ dewiacji głównej nośnej jest stale zajęta przez częstotliwości nadakustyczne sygnału podnośnej. Ze wstępnych doświadczeń wynika, że dla tego systemu odpowiedniejszą wartością pogorszenia stosunku sygnału do szumu jest 10 dB niż 6 dB, które podaje tablica 2. Różnica pomiędzy wartościami z praktyki i teorii będzie nieco mniejsza w systemie z 30% dewiacją, przydzieloną sygnałowi podnośnej. Najmniejsze różnice, prawdopodobnie zupełnie niezauważalne wystąpią w systemach z modulacją amplitudy podnośnej, gdyż tutaj amplituda sygnału podnośnej jest automatycznie obniżana do małych wartości podczas pauz i zciszonych pasaży w nadawanej audycji.

Poza tym przyjęto w założeniach, że sygnały L i P mają taką samą moc i że są one w przypadkowej zależności wzajemnej - z czego wynika, że poziomy sygnałów  $1/2/L+P/$  i  $1/2/L-P/$  są jednakowe i że każdy z nich jest o 3 dB niższy od poziomu poszczególnych przebiegów L i P. Gdyby przebiegi L i P były odpowiednio skorelowane, to sygnał różnicowy wypadłby dużo mniejszy od sygnału sumarycznego i wtedy można by wprowadzić do systemów ulepszenia dające znaczną poprawę ich własności. W systemach z modulacją częstotliwości podnośnej sygnał różnicowy mógłby więc być nadawany z wyższym poziomem niż przyjęto w założeniach i następnie odpowiednio przytłumiany w od-

biorniku; dałoby to poprawę stosunku sygnału do szumu w odbiorze stereofonicznym. Natomiast w systemach z modulacją amplitudy podnośnej sygnał sumaryczny mógłby być nadawany z wyższym poziomem, na czym znów zyskałby odbiór monofoniczny, zbliżając się własnościami na mniej niż - 3 dB do normalnego systemu radiofonicznego FM. Analiza znacznej ilości materiału dowodowego wykazała, że w rzeczywistości różnice między maksymalnymi wartościami sygnałów sumarycznego i różnicowego wahają się na ogół w granicach od zera do 10 dB, wynosząc średnio około 4 dB. Trzeba jednak zdawać sobie sprawę, że przy przekazywaniu audycji np. po torach przewodowych korelacja może ulec znacznej degradacji na skutek nierównych przesunięć fazowych składników o większych częstotliwościach akustycznych. Wobec tego wydaje się, że polepszenie właściwości ponad wyniki uzyskane z obliczeń dla nieskorelowanych przebiegów L i P nie będzie mogło być duże.

Zagadnienie wpływu różnych czynników na stosunek sygnału do szumu w odpowiednich systemach radiofonicznych wymaga dalszych badań i wyjaśnień.

Podane w tablicach wartości porównawcze dotyczą systemów, których sumaryczna, maksymalna dewiacja głównej nośnej nie przekracza  $\pm 75$  kHz. Należy jednak zauważyć, że składniki sygnałów modulujących główną nośną, które w systemie z modulacją częstotliwości podnośnej sięgają 75 kHz i nieco mniej, bo 55 kHz lub 40 kHz w systemie z modulacją amplitudy podnośnej, wywołują znaczne poszerzenie pasma emisji ponad normalną dla systemu FM wartość  $\pm 90$  kHz. Wobec powyższego możliwe, że przy

wziętych pod uwagę normach, energia emisji na zewnątrz pasma  $\pm 90$  kHz będzie większa w systemie z modulacją częstotliwości podnośnej niż w systemach z modulacją amplitudy podnośnej. Jednak przed dokonaniem porównań różnych systemów pod względem wielkości wprowadzanych zakłóceń do sąsiednich kanałów trzeba będzie przedtem prawdopodobnie uwzględnić pewną korekcję norm lub też przewidzieć specjalne filtry w nadajniku.

Składniki modulacji podnośnej mogą również wpływać na wielkość współkanałowych zakłóceń. Zwiększenie tych zakłóceń może nastąpić nie tylko z powodu użycia wielokrotnego systemu, w którym sygnał  $1/2/L+P/$  jest przenoszony za pośrednictwem mniejszej niż normalnie dewiacji, lecz również dlatego, że typowy sposób obniżenia wzajemnych zakłóceń przez odstrojenie /offset/ nośnych częstotliwości dwóch stacji nadawczych o 20 kHz lub więcej nie daje już dodatnich wyników w wielu systemach wielokrotnych z przyczyn powiększenia energii wstęg bocznych przez składniki modulacji podnośnej.

Zarówno systemy z modulacją częstotliwości jak i amplitudy podnośnej dają się łatwo przystosować do stosunkowego zapotrzebowania na służbę monofoniczną i stereofoniczną. Uzyskuje się to przez zmianę podziału całkowitej dewiacji, co wyraźnie widać z tablicy 2, gdzie systemy /b/ i /c/ różnią się wartością dewiacji przydzielonej sygnałowi sumarycznemu i sygnałowi różnicowemu na podnośnej. Co się tyczy systemów wielokrotnych z podziałem czasowym, to choć z zasady działania tych systemów wynikają określone poziomy sygnałów sumarycznego i róż-

nicowego, to jednak ich stosunkowy udział w modulacji może być przed wprowadzeniem do nadajnika FM wyregulowany. Odpowiednią korekcję można uzyskać za pomocą filtru o dobranej charakterystyce tłumienia lub też w metodzie ze zrównoważonym modulatorem przez bezpośrednie wyregulowanie poziomu sygnałów sumarycznego i różnicowego.

#### IV. Odbiorniki stereofoniczne FM do systemów wielokrotnych

Przede wszystkim należy stwierdzić, że jeszcze nie ma dostatecznych danych doświadczalnych, aby już można było mówić o tym, jak dalece zawikłość układu i rozbudowa konstrukcji specjalnych odbiorników lub przystawek wpłyną na wybór jednego z wielu systemów stereo-radiofonicznych FM. W chwili obecnej dostatecznie jest zbadany tylko system z modulacją częstotliwości podnośnej, który już od pewnego czasu jest eksploatowany w Stanach Zjednoczonych do przekazywania pomocniczego programu. Ze zdobytych w tej służbie doświadczeń wynika, że sprzęt odbiorczy wcale nie wymaga tak dużego, jakby się zdawało, wkładu środków. Układ elektryczny odbiornika jest typowy do głównego dyskryminatora, po czym z reguły idzie wzmacniacz sygnału podnośnej z dyskryminatorem typu licznika impulsów, na wyjściu którego jest już sygnał akustyczny pomocniczego programu. W zastosowaniu do stereofonii, korzystającej z przesyłania sygnałów sumarycznego i różnicowego - składniki o częstotliwości akustycznej z dyskryminatorów głównego i podnośnej powinny być doprowadzone do dodatkowych układów sumującego i

różnicowego w celu wyłowienia przebiegów L i P.

Urządzenia odbiorcze w systemach z modulacją amplitudy podnośnej mają układy podobne z wyjątkiem demodulatora sygnału podnośnej. Wobec tego, że najbardziej obiecująco przedstawiają się systemy typu ze stłumioną podnośną, w odbiorniku powinien być przewidziany generator częstotliwości podnośnej, synchronizowany za pomocą stosunkowo słabego sygnału kontrolnego z nadajnika. Demodulator w tych systemach może być dwóch rodzajów. Pierwszy jest rodzajem przełącznika o odwrotnym lecz podobnym działaniu jak w metodzie modulacji dwoma różnymi sygnałami /L i P/ jednej nośnej za pomocą przełączania. Stosując po dyskryminatorze rytmiczne ze stroną nadawczą, zfazowane przełączanie złożonego sygnału na dwa wyjścia, uzyskuje się bezpośrednio na nich przebiegi akustyczne L i P. Drugi rodzaj demodulatora jest detektorem fazowym, który wykawia ze złożonego sygnału po dyskryminatorze składniki będące w fazie z przebiegiem kontrolnym generatora częstotliwości podnośnej w odbiorniku - dając w rezultacie sygnał różnicowy.

We wszystkich systemach wielokrotnych, o czym była już mowa w rozdz. 5.4., mogą powstać znaczne przesłuchy między przebiegami L i P z przyczyn nierówności charakterystyk układów /amplitudy i fazy/ przenoszących sygnały sumaryczny i różnicowy. Wobec tego brak zwykłego przesłuchu między drogami przesyłowymi sygnałów sumarycznego i różnicowego nie zapewnia jeszcze braku przesłuchu między przebiegami L i P. Przy projektowaniu odbiorników sprawa ta powinna być wzięta pod uwagę, gdyż



wprowadzenie układów korekcji fazy sygnałów sumarycznego i różnicowego może się okazać konieczne. Metoda przełączania jak również pewne inne metody detekcji stosowane w systemach modulacji amplitudy podnośnej mają tę przewagę, że unikają błędów fazowych, związanych z układami demodulacji sygnału z podnośnej.

### 6,3,3. Zestawienie uwag dotyczących systemów wielokrotnych

Każdy system wielokrotny o pełnych zakresach częstotliwości obu sygnałów jest zawsze gorszy od systemu jednokrotnego pod względem stosunku sygnału do szumu. W przypadku transmisji AM pogorszenie to może nie być duże, o ile będą tolerowane pewne zniekształcenia nieliniowe, występujące przede wszystkim w odbiorze monofonicznym przy większych głębokościach modulacji. W przypadku transmisji FM o podnośnej z modulacją amplitudy lub częstotliwości, teoretyczne badania własności systemów nie dają dokładnych wyników, gdyż niektóre wpływy, jak np. zakłócenia impulsowe, nie mogą być ujęte obliczeniowo. W związku z tym istnieje potrzeba zebrania materiału doświadczalnego o wpływie różnych dodatkowych czynników na stosunek sygnału do szumu, jak również na wielkość zakłóceń sąsiednio i współkanałowych. Do służby monofonicznej muszą wystarczyć własności obecnych typów odbiorników radiowych, lecz do służby stereofonicznej, która wymaga opracowania nowych urządzeń odbiorczych, każde proste udoskonalenie prowadzące do polepszenia stosunku sygnału do szumu w celu zwiększenia zasięgu stacji

obskutgującej powinno być wzięte pod uwagę.

Jest pożądanę, aby każdy projektowany system z przyjętymi normami na modulację był poparty danymi o zwiększonym natężeniu pola, jakie jest potrzebne do zapewnienia - służbie monofonicznej przede wszystkim, a potem stereofonicznej - tych samych warunków odbioru co obecnie. Pewne ulepszenia w instalacji antenowej i urządzeniach odbiorczych mogą być przy tym uwzględniane przy rozpatrywaniu służby stereofonicznej, natomiast żadnych zmian tego rodzaju nie należy przewidywać w służbie monofonicznej. Z uzyskanych w ten sposób danych będzie można wysnuć wniosek o potrzebie zwiększenia mocy lub ilości nadajników w celu utrzymania istniejących lub tylko nieco pogorszonych warunków odbioru jednej i drugiej wersji nadawanego programu.

Jest jeszcze jeden czynnik, który chociaż nie jest bezpośrednio związany z własnościami transmisji stereofonicznej, to jednak może mieć wpływ na wybór systemu wielokrotnego. Mianowicie, wydaje się mało prawdopodobne, aby wszystkie pozycje programu radiowego nadawały się do przekazywania stereofonicznego i wobec tego mogą powstać okresy, podczas których potencjalne możliwości odpowiedniego systemu transmisyjnego będą nie wykorzystane. Te okoliczności mogą natomiast być wykorzystane do przesyłania dodatkowej audycji monofonicznej kanałem normalnie przeznaczonym do przenoszenia sygnału różnicowego; wymaga to jednak obniżonego w stosunku do potrzeb stereofonii przesłuchu pomiędzy drogami przesyłowymi sygnałów sumarycznego i różnicowego. Do korzystania

z dodatkowej audycji trzeba oczywiście przewidzieć w odbiorniku stereofonicznym osobną pozycję przełącznika, za pośrednictwem którego będzie można wyławiać tylko sygnały z podnośnej. Należy zauważyć, że odbiór dodatkowej audycji będzie narażony na pogorszenie stosunku sygnału do szumu o około 3 dB w porównaniu z tym, jaki podają tablice 2 i 3 dla sygnału 1/2/L-P/ w służbie stereofonicznej. Jednak w zasięgu ściśle lokalnym sprawa ta nie ma większego znaczenia i niektóre audycje, jak aktualne wiadomości lub muzyka rozrywkowa, dla których wymagania na przesłuch nie są zbyt ostre, mogłyby być nadawane systemem z modulacją częstotliwości podnośnej, gdyż jak się wydaje przynajmniej jedna z metod tego systemu dałaby zadowalające rezultaty.

#### 6.4. Jednokanałowe systemy z kodowaną informacją kierunku

Percival /E.M.I./ wprowadził do zagadnienia zasadę zmniejszenia do minimum informacji potrzebnej do przekazania stereofonicznej audycji, opracowując system różny od dotychczas opisanych. W skrócie zastosowana metoda polega na przekazywaniu audycji za pośrednictwem sygnału, który w odbiorniku zasila dwa głośniki w stosunku zależnym od dodatkowego wąskopasmowego sygnału "sterującego". Powyższy sygnał sterujący, który zależy tylko od kierunku nadejścia fal dźwiękowych do mikrofonów może być przesyłany w przypadku radiofonii u.k.f. F.M. za pomocą modulacji podnośnej, mającej częstotli-

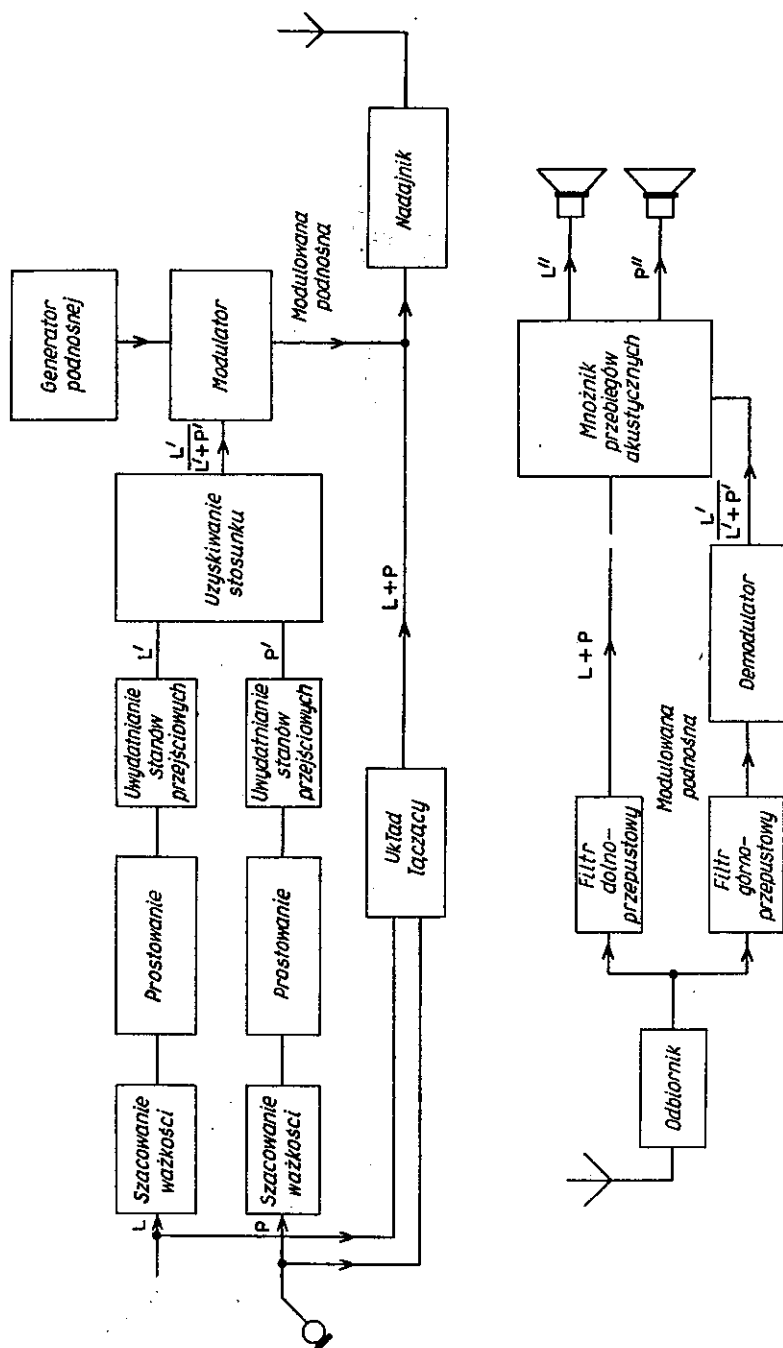
wość rzędu 20 kHz, podczas gdy audycja jest przekazywana w normalny sposób, odpowiedni do odbioru monofonicznego na typowych odbiornikach radiowych.

Pomysł wpływu sygnałem sterującym na odbiór audycji przekazywanej jednym kanałem nie jest nowy. Natomiast nowością obecnego systemu jest to, że dźwięki z szeregu źródeł usytuowanych pod różnymi kątami do mikrofonów są przekazywane jednocześnie. Wydaje się z początku, że jednoczesne odtwarzanie obrazów dźwięku pochodzących z szeregu oddzielnych źródeł jest niemożliwe, gdyż stosunek sygnałów dochodzących do dwóch głośników odbiornika - od którego to stosunku zależy miejsce dźwięku na scenie - może mieć tylko jedną wartość w każdej chwili. Niedawno przeprowadzone przez Percivala badania wykazały jednak, że o odczuciu słuchowym miejsca obrazu na scenie w dużej mierze decyduje moment powstania dźwięku w głośnikach i że te subiektywne wrażenia miejsca raz zapoczątkowane pozostają jeszcze krótką chwilę, mimo że stosunek natężenia dźwięku z głośników uległ w następnej chwili zmianie. Jeżeli w tym czasie rozlegnie się dźwięk pochodzący z innego źródła, wtedy odczucie słuchowe miejsca będzie podobnie określone przez wartość sygnału sterującego w momencie powstania tego dźwięku, bez wpływu jednak na wywołane już wrażenie o miejscu poprzedniego źródła. Ponieważ większość audycji składa się z dźwięków, które bez przerwy powstają i zanikają lub co najmniej zmieniają amplitudę, opisany powyżej proces ma przebieg prawie ciągły; miejsca poszczególnych obrazów dźwięku zjawiają się w szybkim

tempie jeden po drugim i pozostają chwilę, podczas której poprzednie wrażenia stopniowo zanikają. Stwierdzono możliwość wywołania wrażenia pochodzenia dźwięków w szeregu kierunków jednocześnie za pomocą sygnału sterującego o szerokości zajmowanego pasma tylko 10 Hz, co odpowiada przenoszeniu dwudziestu różnych informacji o kierunku na sekundę. Jednak, aby zezwolić na gwałtowną zmianę kierunku między następującymi po sobie obrazami dźwięków, przewiduje się, że w praktyce wartość szerokości pasma sygnału sterującego wyniesie około 100 Hz.

Do prawidłowego działania system wymaga użycia pary zbieżnych, jednakowych mikrofonów kierunkowych, gdyż para taka daje sygnały L i P różniące się dla każdego źródła dźwięku wielkością amplitudy, a stosunek tych amplitud mówi o położeniu źródła dźwięku względem mikrofonów. Ze stosunku amplitud wynikają więc dane o kierunku, które za pomocą odpowiedniego kodu sygnałem sterującym są przekazywane do odbiornika. Rysunek 5 przedstawia schemat blokowy systemu. Najpierw jest szacowana ważkość sygnałów L i P w układach o charakterystyce w przybliżeniu proporcjonalnej do częstotliwości. Po wyjściu z tych układów sygnały są prostowane, po czym obwiednie poddawane próbie szybkości narastania w układach uwydatniających stany przejściowe. Wynikiem tych operacji są przekształcone sygnały L' i P'.

Uzyskanie z sygnałów L' i P' wartości zależnej tylko od ich stosunku a nie od wielkości wymaga paru jeszcze przekształceń z chwilowym nawet przejściem do układów logarytmicznych. W rezultacie sygnał sterujący ma po-



Rys. 5. System Persivala

stać  $\frac{L'}{L' + P'}$ , której wartość może się zmieniać od zera dla źródła dźwięku z krańcowo prawej strony do jedności dla źródła z krańcowo lewej strony. Zmodulowana sygnałem sterującym podnośna /wytwarzana przez lokalny generator/ jest razem z połączonymi sygnałami częstotliwości akustycznej /L+P/ doprowadzana do nadajnika FM.

W odbiorniku, po dyskryminatorze, zmodulowany przebieg podnośnej przechodzi przez filtr środkowo-przepustowy dając na wyjściu po demodulacji sygnał sterujący  $\frac{L'}{L' + P'}$ . Sygnał ten jest następnie doprowadzany do układu mnożnika przebiegów akustycznych, dającego na wyjściu dwa sygnały o amplitudach  $\frac{L'}{L' + P'}$  i  $1 - \frac{L'}{L' + P'}$  z których każdy jest pomnożony przez sygnał akustyczny /L+P/ uzyskiwany z odpowiedniego detektora. Utworzone w ten sposób przebiegi  $L'' = \frac{L'}{L' + P'} /L+P/$  i  $P'' = 1 - \frac{L'}{L' + P'} /L+P/ = \frac{P'}{L' + P'} \cdot /L+P/$ , które jak widać zachowały proporcję oryginalnych sygnałów L i P, są następnie wzmacniane i doprowadzane do dwóch głośników.

W systemie Percivala, w którym potrzebna do przesłania ilość informacji o kierunku jest mała, obie służby monofoniczna i stereofoniczna mogą mieć tylko niewiele gorszy stosunek sygnału do szumu od normalnego. Ponadto można się spodziewać, że system ten nie będzie stawiać przed techniką transmisyjną tak ostrych wymagań na jakość łącz radiowych, jak to czynią systemy wielokrotne. System zezwala również na dość dowolny wybór metody tworzenia sygnału audycji monofonicznej. Na przykład lewe i prawe sygnały mogą być przed zmieszaniem tak przesunięte względem siebie fazowo, by ich odpowiednie

składniki częstotliwościowe różniły się fazą o  $90^{\circ}$  przez co zmniejszą się trudności poruszone w rozdz. 4.3., dotyczące tworzenia właściwej, wypadkowej charakterystyki kierunkowej dla mikrofonów.

W czasie pisania tej monografii prace nad systemem Percivala nie zostały jeszcze zakończone; są one w stadium doświadczalnym, tak że na możliwość dokładnej oceny systemu trzeba będzie jeszcze trochę poczekać.

## 7. ZASTOSOWANIE STEREOFONII DO TELEWIZJI

Niniejsza monografia nie byłaby kompletna bez wzmianki o możliwościach przesyłania dźwięków zwykle towarzyszących obrazowi telewizyjnemu w wersji stereofonicznej. W literaturze technicznej nie ukazały się dotychczas żadne poważniejsze prace na temat możliwości zastosowania stereofonii do telewizji, choć takie próby były wykonane w Stanach Zjednoczonych na trzech kanałach przy użyciu dwóch odbiorników radiowych dźwięku, dostrojonych do oddzielnych transmisji i umieszczonych z obu stron odbiornika telewizyjnego. Zastosowanie stereofonii do telewizji zostało ostatnio wprowadzone do zagadnień interesujących CCIR.

Wydaje się, że dźwięki stereofoniczne należycie oddtworzone przez głośniki umieszczone z lewa i prawa od ekranu telewizyjnego mogą znacznie uwydatnić naturalność i podnieść walory programu telewizyjnego - lecz mogą one również dać niewłaściwy efekt wtedy, gdy telewizor uzyska z głośników informacje o kierunku inne niż



te, które dostarcza oglądany obraz. Doświadczenie z kinematografii uczy, że odczucie wzrokowe jest na ogół silniejsze i ma pierwszeństwo przed słuchowym, gdy chodzi o stwierdzenie miejsca, z którego wydaje się, że dźwięk pochodzi, lecz im bardziej skuteczny jest system stereofoniczny, tym więcej należy się wystrzegać znaczniejszych niezgodności pomiędzy dźwiękiem i wizją. Przy rozstawieniu głośników, które zwykle wynosi od 1,5 do około 3 metrów, scena dźwięku będzie za szeroka do wymiarów obrazu w większości telewizorów domowych. Ta dysproporcja może być skorygowana zmniejszeniem rozstawienia głośników lub też, co daje efekt prawie równoważny, sposobem elektrycznym przez wprowadzenie pewnego wzajemnego sprzężenia pomiędzy sygnałami lewym i prawym - lecz wtedy wrażenia przestrzenne, które są główną zaletą stereofonii, będą w znacznym stopniu stracone. Można temu częściowo zaradzić przez odpowiednie uszykowanie mikrofonów w studio z dodaniem w razie potrzeby sztucznego pogłosu, tak by bezpośrednie dźwięki znalazły się w stosunkowo wąskim pasie sceny, gdy tymczasem pogłos i różnego rodzaju odgłosy, jak np. oklaski, wypełniały całą jego szerokość.

## 8. WNIOSKI

Pomysł, aby do istniejącego systemu radiofonicznego dodać wersję stereofoniczną jest technicznie możliwy do zrealizowania, lecz przedstawia on szereg poważnych problemów ekonomicznych. Odpowiedni system stereofonicz-

ny będzie prawdopodobnie wymagał zainstalowania w centrach studyjnych lub nadawczych sprzętu kodującego bądź też przekształcającego sygnały. Większość projektowanych systemów "odpowiednich" wymaga bądź zwiększenia ilości czy też mocy nadajników, bądź też pogodzenia się ze zmniejszonym obszarem pokrycia programowego ze względu na pogorszenie stosunku sygnału do szumów; mniejszość natomiast propozycji rozwiązuje to zagadnienie pewnym obniżeniem efektu stereofonicznego. Ponadto, jak wynika z analizy, trzeba będzie przeprowadzić radykalne zmiany w obecnym systemie rozprowadzania programów za pośrednictwem łączy dalekosiężnych. Niezależnie od środków, jakie będą zastosowane, należy liczyć się ze stopniem zainteresowania publicznego dodatnimi właściwościami stereofonii i z proporcją abonentów, którzy będą gotowi zaopatrzyć się w dodatkowy sprzęt odbiorczy czy też adaptacyjny. Biorąc rzecz realnie należy zbadać, jaka część nadawanego programu zyska na wersji stereofonicznej i w tym celu przeprowadzić próby ze wszystkimi typami audycji, aby zdobyć odpowiednie doświadczenie. Dla przypadków, w których stereofonia nie daje żadnych korzyści trzeba będzie zastanowić się nad wyborem najodpowiedniejszego sposobu wykorzystania systemu. Do jałowego zdania sobie sprawy z warunków musi upłynąć pewien czas, lecz gdy potrzeby na służbę stereofoniczną wzrosną, wtedy będą one na pewno miały znaczny wpływ na przyszły rozwój radiofonii.

Mgr inż. HENRYK HELBING

### UZUPEŁNIENIE

W lipcowym numerze z roku 1961 czasopisma technicznego "Electronics World" ukazał się artykuł D.R. von Recklinghausena pt. "Stereophonic FM Multiplex System" o świeżo zatwierdzonym do eksploatacji w Stanach Zjednoczonych A.P. systemie stereo-radiofonicznym FM. W kwietniu 1961 roku amerykańska komisja /Federal Communications Commission/ podała charakterystykę przyjętego standardu modulacji wielokrotnej dla radiofonii FM. Powyższa decyzja nastąpiła po długich i wnikliwych badaniach wielu nadających się do wykorzystania systemów.

Przyjęty przez komisję system stereo-radiofonii FM jest oparty w zasadzie na metodach zaproponowanych przez General Electric Company i Zenith Radio Corporation z pewnymi uzupełnieniami wniesionymi przez komisję. Oto główne dane charakterystyczne tego systemu transmisji:

1. W pasmie naturalnym /50 - 15000 Hz/ sygnału modulującego przesyłana jest suma lewych i prawych sygnałów akustycznych o takiej samej charakterystyce częstotliwości i jej uwypuklania /preemfazy/, jaka jest obecnie stosowana przy nadawaniu monofonicznym.
2. Sygnał kontrolny o częstotliwości 19000 Hz  $\pm$  2 Hz moduluje główną nośną w 8 - 10% jej maksymalnej dewiacji.

3. Podnośna jest drugą harmoniczną sygnału kontrolnego i przecina oś czasu z dodatnim nachyleniem jednocześnie z każdym przejściem przez oś czasu sygnału kontrolnego.
4. Podnośna jest modulowana amplitudowo, przy czym sama podnośna /lecz nie jej wstęgi boczne/ jest stłumiona do wartości, przy której modulacja głównej nośnej wynosi mniej niż 1% dewiacji maksymalnej,
5. Sygnałem modulującym podnośną jest różnica sygnałów akustycznych lewych i prawych o zakresie częstotliwości wynoszącym co najmniej 50 - 15000 Hz z układem preemfazy o stałej czasu 75 mikrosekund.
6. Dla przypadków, gdy występuje tylko jeden z sygnałów akustycznych - lewy lub prawy - wstęgi boczne podnośnej mogą wymodulować główną nośną najwyżej w 45% jej maksymalnej dewiacji. Każdy z sygnałów - zarówno sumaryczny jak i różnicowy - może wymodulować główną nośną najwyżej w 90% jej maksymalnej dewiacji, co jest dopuszczalne dzięki temu, że sygnał sumaryczny osiąga wartość maksymalną wtedy, gdy różnicowy jest zero i na odwrót.
7. Charakterystyki częstotliwościowe dróg przesyłowych sygnału sumarycznego i sygnału różnicowego są jednakowe w całym zakresie przenoszonych częstotliwości /łącznie z układami preemfazy/ z tolerancją amplitudową 0,3 dB i fazową 3 stopnie. Powyższe wymagania pozwalają na uzyskanie co najmniej 29,7 dB separacji /tłumienności przesłuchu/ między sygnałami w zakresie od 50 do 15000 Hz.

8. Dopuszczalne zniekształcenia sygnału sumarycznego i sygnału różnicowego powstałe w drogach przesyłowych systemu są takie same, jak przy nadawaniu monofonicznym. Zniekształcenia sygnałów w urządzeniach akustycznych studia, nadajnika i jego monitora pracujących łącznie z układami preemfazy i deemfazy nie mogą przekroczyć 3,5% w zakresie od 50 do 100 Hz, 2,5% od 100 do 7500 Hz i 3% w zakresie od 7500 do 15000 Hz,
9. W skład sygnałów modulujących nadajnik FM prócz sygnałów stereofonicznych może wchodzić dodatkowy sygnał programu muzyki rozrywkowej /SCA/ na podnośnej 67 kHz, mieszczący się w pasmie  $59 \pm 75$  kHz. Sygnał ten może wymodulować główną nośną najwyżej w 10% jej maksymalnej dewiacji z tym, że tłumienność przesłuchu z sygnałami stereofonicznymi musi wynieść co najmniej 60 dB w stosunku do 100% modulacji.

